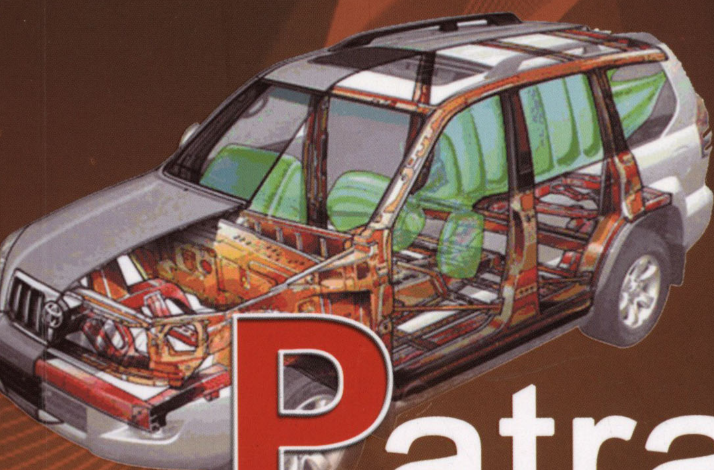
内附DVD配音教学光盘



计算机辅助分析(CAE)系列
JISUANJIFUZHUFENXI(CAE)XILIE

Patran 2010 与 Nastran 2010 有限元分析从入门到精通

全面完整的知识体系
深入浅出的理论阐述
循序渐进的分析讲解
实用典型的实例引导

随书配送 DVD 光盘。包含全书所有实例的源文件素材，并制作了全部实例的制作过程动画 AVI 文件和效果图演示。可以帮助读者更加形象直观、轻松自在地学习本书。



三维书屋工作室
龙凯 贾长治 李[illegible]等编著





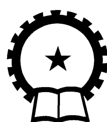
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

Patran 2010 与 Nastran 2010
有限元分析从入门到精通

三维书屋工作室
龙凯 贾长治 李宝峰 等编著



机械工业出版社

本书介绍了Patran 2010软件的基本操作以及Nastran 2010的求解分析，全书共分为19章。第1章简介MSC公司以及Patran和Nastran的基本功能；第2章简介使用Patran建模和Nastran 分析的过程；第3章介绍使用Patran建立几何模型；第4章介绍使用Patran 进行有限元网格划分；第5章介绍材料属性；第6章单元属性；第7章介绍工况及边界条件；第8章介绍了如何进行分析控制；第 9 章介绍分析结果后处理。第 10 章至 19 章是实例章，涵盖了使用Nastran分析的主要分析类型，其中第10章介绍基本使用实例；第11章介绍静力学分析；第12章介绍屈曲分析；第13章介绍模态分析；第14章介绍瞬态响应分析；第15章介绍频率响应分析；第16 章介绍随机响应分析；第 17 章介绍非线性分析；第 18 章介绍结构拓扑优化；第19章介绍热传导分析。对所有实例的操作步骤都提供了详细的文字和图例说明，以便于读者学习掌握。

本书适合于高等院校研究生作为计算机辅助有限元分析软件自学教材，也可以作为各科研院所研究人员的研究参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

Patran 2010与Nastran 2010有限元分析从入门到精通/龙凯等编著．—2版．—北京：机械工业出版社，2011.10（2017.1重印）

ISBN 978-7-111-36004-9

Ⅰ．①P… Ⅱ．①龙… Ⅲ．①有限元分析—应用软件，Patran 2010、Nastran 2010—教材 Ⅳ．①0241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字（2011）第198535号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：曲彩云 责任印制：李 飞

北京铭成印刷有限公司印刷

2017年1月第2版第5次印刷
184mm×260mm・31.5印张・780千字
7001—8000册
标准书号：ISBN 978-7-111-36004-9
ISBN 978-7-89433-142-7（光盘）
定价：69.00元（含1DVD）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务 策划编辑：（010）88379782
社服务中心：（010）88361066 网络服务
销售一部：（010）68326294 门户网：http://www.cmpbook.com
销售二部：（010）88379649 教材网：http://www.cmpedu.com
读者购书热线：（010）88379203 封面无防伪标均为盗版

序　言

MSC 软件公司的系列产品 MSC.Nastran 和 Patran 于 20 世纪 80 年代进入我国，并逐步在航空航天、汽车、造船、国防，铁路运输、机械、建筑和土木工程、水利、能源化工等一系列领域得到广泛的应用，为产品的研发质量和性能的提升带来了很大的帮助，解决了很多领域的工程计算的难题，取得了很大的社会效益和经济效益。因此 MSC 公司的 astran 和 Patran，ADAMS 和 MARC 等系列产品都获得了广泛的好评。在国内的市场很受广大用户的欢迎，使用普及的程度很高。为了方便国内读者学习使用 Nastran 和 Patran 等产品，从 2003 年起，在 MSC 软件中国区的组织下，陆续出版了 MSC 软件的系列丛书，很多学者和专家也出版了很多这方面的书籍，所有这些书籍为读者提供了很多帮助。

MSC 软件公司的经营理念是：针对最广泛的真实世界的性能，不断扩展工程分析的范畴，达到交付确实可信的结果。在这里确实可信是关键，一方面真实世界是很复杂的，从有限元分析的技术角度看，是很多学科技术合并在一起起作用，所以要保证精度，需要让软件的仿真引擎 Nastran 不断融入新的技术，成为真正意义的多学科协同仿真分析的引擎，这方面的挑战确实很大，但是 MSC 软件公司一直在不断努力进步；同时要保证时间和进度，前处理技术需要更加便捷和高效，用户界面良好。MSC 软件公司在这些年的产品开发上一直秉承这个理念而不断追求进步，为客户提供更多价值，从 2010 年起，MSC 软件公司的 Patran 2010 基于 Windows 的风格进行了很大的技术变革，从界面的风格，操作的习惯进行了革新，增加了右键弹出菜单，同时参照了人体工程方面的研究后，对很多常用菜单进行了优化和组合，减少了菜单的层级，从而减少了用户的菜单点击次数，当然在零部件的简化处理和网格划分的技术上都进行了提高。而 Nastran 2010 开发了很多增强的功能，除了本身的技术进步，例如增加新的单元类型，计算速度等方面，来增加了多学科分析方面的能力，例如隐式非线性、显式非线性、外噪声、转子动力学等技术，同时也在把运动、碰撞、系统与控制、热分析等能力逐步融合。由于技术的进步和软件的不断更新，原来的一些书籍就显得有些不够用了。为了方便用户，特别是新用户更加方便快捷地掌握最新的 Nastran 和 Patran 技术，出版一本全新的，系统的全面介绍的书籍是很有必要的。本书正是为了满足这一需求而编写出版的。

本书作者龙凯博士，长期使用 Nastran 和 Patran 进行科研和教学工作，积累了大量的软件使用经验和工程经验，熟悉用户培训和技术支持工作，了解用户的需求。市场上的有些书籍是入门级别的，对于有些使用者而言，可能觉得简单了一点，帮助不大，而有些则偏重于理论，使用性和通俗易懂性则不强。而本书很好地把这入门级别和精通级别两者的需求结合在一起，确实是了不起的工作。本书还收集了大量的实例源文件，录制了很多过程的操作录屏的 AVI，可以帮助读者学习。对读者而言，是一本非常实用的书籍，可以用于在校学生的学习，也适合公司对用户进行 Nastran 和 Patran 的软件培训。龙凯博士以及其他编者在这本书的编写上花费了大量的心血，在此我代表 MSC 大中华区全体同仁对编者表示深深的感谢。

MSC 软件公司　大中华区总经理　　　刘宏宇

前　言

随着市场竞争的日趋激烈，制造厂商们对 CAE 在产品设计制造过程的重要作用认识得越来越清楚。CAD 技术着重解决的是产品的设计质量问题（如造型、装配、出图等）；CAM 技术着重解决的是产品的加工质量问题；而 CAE 技术着重解决的是产品的性能问题。一方面由于 CAD/CAM 系统间各具特色，另一方面由于产品性能仿真所涉及的内容及学科多样性、合作对象的多元化，因此设计和制造厂商对于能够将各种设计、分析、制造、测试软件紧密有效地集成为一个易学易用的完整框架系统的需求也就变得更加迫切，从而最大限度地降低开发成本、加快产品投放市场和缩短设计周期。

MSC.Software Corporation（简称 MSC.Software）创建于 1963 年，总部设在美国洛杉矶，是享誉全球最大的工程校验，有限元分析和计算机仿真预测应用软件（CAE，Computer Aided Engineering）供应商。

Patran 是一个集成的并行框架式有限元前后处理及分析仿真系统。Patran 最早由美国宇航局（NASA）倡导开发，是工业领域最著名的并行框架式有限元前后处理及分析系统，其开放式、多功能的体系结构可将工程设计、工程分析、结果评估、用户化设计和交互图形界面集于一身，构成一个完整的 CAE 集成环境。使用 Patran 可以帮助产品开发用户实现从设计到制造全过程的产品性能仿真。Patran 拥有良好的用户界面，便于用户学习和使用。目前，其最新版本已经发展到 Patran 2010。

Nastran 是美国国家航空航天局（简称 NASA）为适应各种工程分析问题而开发的多用途有限元分析程序。这个系统称作 NASA Structural Analysis System，命名为 Nastran。为了迎合企业准确充分地模拟产品的真实性能的需求，结合当今计算方法、计算机技术的最新发展，从 2001 年以来，MSC.Software 投入了大量的研发力量进行 MD 技术研发，在 2006 年成功发布了新一代的多学科仿真工具 Nastran，在继承原有 Nastran 强大功能的基础上，陆续集成了 Marc、Dytran、Sinda、Dyna 和 Actran 等著名软件的先进技术，大大增强了高级非线性、显式非线性、热分析、外噪声分析等功能。目前，其最新版本已经发展到 Nastran 2010。

本书介绍了 Patran 2010 软件的基本操作以及 Nastran 2010 的求解分析，全书共分为 19 章。第 1 章简介 MSC 公司以及 Patran 和 Nastran 的基本功能；第 2 章简介使用 Patran 建模和 Nastran 分析的过程；第 3 章介绍使用 Patran 建立几何模型；第 4 章介绍使用 Patran 进行有限元网格划分；第 5 章介绍材料属性；第 6 章单元属性；第 7 章介绍工况及边界条件；第 8 章介绍了如何进行分析控制；第 9 章介绍分析结果后处理。第 10 章至 19 章是实例，涵盖了使用 Nastran 分析的主要分析类型，其中第 10 章介绍基本使用实例；第 11 章介绍静力学分析；第 12 章介绍屈曲分析；第 13 章介绍模态分析；第 14 章介绍瞬态响应分析；第 15 章介绍频率响应分析；第 16 章介绍随机响应分析；第 17 章介绍非线性分析；第 18 章介绍结构拓扑优化；第 19 章介绍热传导分析。对所有实例的操作步骤都提供了详细的文字和图例说明，以便于读者学习掌握。

随书多媒体光盘包含全书所有实例源文件和操作过程录屏 AVI 文件。可以帮助读者更加形象直观地学习本书内容。

本书由三维书屋工作室总策划，华北电力大学的龙凯博士和军械工程学院的贾长治副教授、李宝峰博士主要编写，参加编写的还有王文平、王敏、刘昌丽、张日晶、路纯红、周冰、董伟、李瑞、张俊生、孟清华、陈丽芹、李世强、王兵学、王渊峰、袁涛、王佩楷、阳平华、王义发、郑长松、王艳池、许洪、王培合、胡仁喜、王宏、康士廷、杨雪静、董荣荣、夏德伟、王玉秋等。

由于编者水平有限，时间仓促，所以难免在内容选材和叙述上有欠缺之处。竭诚欢迎广大读者在阅读过程中登录网站 www.sjzsanweishuwu.com 对本书提出批评和建议。也可以发电子邮件到编者的电子信箱：win760520@126.com，以方便做进一步的交流。

编　者

目　录

序言
前言
第 1 章　概述 1
1.1　MSC公司及其产品介绍 1
1.2　Patran 介绍 2
1.2.1　图形用户界面 2
1.2.2　CAD几何模型的直接访问 3
1.2.3　几何造型功能 4
1.2.4　分析集成 4
1.2.5　有限元建模 5
1.2.6　结果交互式可视化后处理 6
1.2.7　高级用户化工具 6
1.3　Nastran 软件功能介绍 7
1.3.1　静力分析 7
1.3.2　屈曲分析 7
1.3.3　动力学分析 7
1.3.4　热分析 8
1.3.5　空气动力弹性及颤振分析 8
1.3.6　流固耦合分析 9
1.3.7　多级超单元分析 9
1.3.8　高级对称分析 10
1.3.9　设计灵敏度及优化分析 10
1.3.10　转子动力学特性分析 11
1.3.11　概率有限元分析 11
1.3.12　与ADAMS进行刚/柔性多体动力学分析 12
1.3.13　Nastran的并行求解方法 12
1.3.14　多种求解方法 12
1.3.15　用户化开发工具DAMP语言 12
第 2 章　Patran建模和Nastran分析过程 13
2.1　有限元分析简介 13
2.2　Patran 建模和Nastran分析流程 14
2.2.1　Patran 2010 的用户界面介绍 14
2.2.2　Patran建模和Nastran分析的一般流程 19
2.2.3　Patran和Nastran 的主要相关文件 20
2.2.4　单位制介绍 21
2.3　实例入门——支撑结构受力变形分析 22
2.3.1　前处理 22

2.3.2 提交分析 25
2.3.3 后处理 26
第 3 章 创建几何模型 28
3.1 直接创建几何模型 28
3.1.1 创建点 28
3.1.2 创建曲线 33
3.1.3 创建曲面 42
3.1.4 创建三维实体 49
3.1.5 创建坐标系 52
3.1.6 创建平面 54
3.1.7 创建矢量 56
3.2 转化创建几何模型 56
3.3 Patran的输入输出接口 60
3.3.1 Patran输入接口 60
3.3.2 Patran输出接口 62
3.4 编辑几何模型 63
3.4.1 编辑点 63
3.4.2 编辑曲线 64
3.4.3 编辑曲面 65
3.4.4 编辑实体 69
3.5 其他几何操作 70
3.5.1 删除功能 71
3.5.2 信息显示 71
3.5.3 检查几何模型 71
3.5.4 关联 72
3.5.5 反关联 72
3.5.6 重新标号 72
3.6 应用实例 72
3.6.1 圆顶凸台建模实例 73
3.6.2 叉架建模实例 75
3.7 托架线性静力分析全程实例——建模 82
3.7.1 创建数据库模型 83
3.7.2 创建二维平面图 83
3.7.3 创建三维实体 85
3.7.4 创建切割实体模型 86
3.7.5 创建底部圆孔 87
3.7.6 打印痕 88
第 4 章 划分有限元网格 90
4.1 单元库简介 90

4.2 直接创建有限元网格（Create） 92
4.2.1 网格生成器的分类 92
4.2.2 几何协调性和有限元协调性 94
4.2.3 自动生成网格（mesh） 94
4.2.4 手动生成网格 94
4.2.5 创建多点约束（MPC） 95
4.3 转化创建有限元网格 95
4.3.1 移动、旋转和镜像创建节点/单元 96
4.3.2 拉伸、滑动创建单元 97
4.4 修改有限元网格模型 97
4.4.1 修改网格（mesh） 97
4.4.2 修改单元 98
4.4.3 修改梁/杆、三角形、四边形、四面体单元 99
4.4.4 修改节点 99
4.4.5 修改网格种子 100
4.5 检查有限元网格 100
4.5.1 有限元网格检查（Verify） 100
4.5.2 检查三角形单元的质量 101
4.5.3 检查四边形单元的质量 101
4.5.4 检查四面体单元的质量 102
4.5.5 检查五面体单元的质量 102
4.5.6 检查六面体单元的质量 102
4.5.7 检查节点 103
4.5.8 检查中间节点 103
4.5.9 检查超级单元 103
4.6 基于有限元网格模型的其他操作 103
4.6.1 重新标号 103
4.6.2 联结（Associate） 104
4.6.3 解除联结（Disassociate） 104
4.6.4 优化（Optimize） 104
4.6.5 显示信息 105
4.6.6 删除有限元元素（Delete） 105
4.7 创建有限元网格实例 105
4.7.1 卷簧网格划分实例 105
4.7.2 支架网格划分实例 108
4.7.3 连杆网格划分实例 110
4.8 托架线性静力分析全程实例——网格划分 112
第 5 章 材料属性 113
5.1 概述 113

5.2 创建材料模型 115
5.2.1 材料模型的分类 115
5.2.2 创建材料模型的方法 117
5.3 显示材料模型 117
5.4 工程实例 118
5.4.1 各向同性材料模型实例 118
5.4.2 九层复合材料模型实例 119
5.4.3 温度相关材料模型实例 121
5.5 托架线性静力分析全程实例——定义材料本构关系 122
第 6 章 单元属性 123
6.1 概述 123
6.2 创建单元属性 124
6.2.1 0D单元属性 124
6.2.2 1D单元属性 125
6.2.3 2D单元属性 130
6.2.4 3D单元属性 132
6.3 梁的显示 133
6.4 显示检查单元属性 134
6.5 托架线性静力分析全程实例——定义单元属性 134
第 7 章 工况及边界条件 136
7.1 概述 136
7.2 载荷/边界条件的创建、显示、修改、删除 137
7.2.1 创建载荷/边界条件的步骤 139
7.2.2 显示、检查边界条件 140
7.2.3 修改、删除边界条件 140
7.3 应用实例 140
7.3.1 创建平板位移边界条件实例 141
7.3.2 创建径向载荷实例 142
7.3.3 施加变化的载荷实例 143
7.4 托架线性静力分析全程实例——定义边界条件 144
7.4.1 定义位移边界条件 144
7.4.2 定义载荷边界条件 145
第 8 章 分析控制 147
8.1 概述 147
8.2 设定分析环境并提交计算 148
8.2.1 转换参数设置 148
8.2.2 分析类型的设置 149
8.2.3 Subcases的定义 150
8.2.4 Subcase Select 151

8.3 读取分析结果 151
8.3.1 读取分析结果 151
8.3.2 将计算结果与Patran相关联 152
8.4 优化分析 152
8.4.1 问题描述 153
8.4.2 创建设计变量 153
8.4.3 创建目标函数 154
8.4.4 创建约束条件 154
8.4.5 分析设置 155
8.4.6 分析求解 156
8.5 托架线性静力分析全程实例——提交分析作业 156
第 9 章 结果后处理 157
9.1 概述 157
9.2 后处理的一般步骤 158
9.3 分析结果快速显示 158
9.4 显示变形图 161
9.5 显示云图 162
9.6 图形符号显示 163
9.7 创建X-Y坐标曲线 163
9.8 生成报告 165
9.9 其他操作 167
9.10 托架线性静力分析全程实例——结果后处理 168
第 10 章 Patran和Nastran基本使用实例 171
10.1 活塞受压分析实例 171
10.1.1 问题描述 171
10.1.2 创建数据库模型并导入模型 171
10.1.3 网格划分 173
10.1.4 定义材料本构关系 174
10.1.5 定义单元属性 174
10.1.6 定义位移边界条件 176
10.1.7 定义压力载荷边界条件 177
10.1.8 提交分析作业 177
10.1.9 查看结果 178
10.2 组和列表定义实例 180
10.2.1 创建数据库模型 180
10.2.2 创建几何模型 181
10.2.3 网格划分 182
10.2.4 定义材料本构关系 184
10.2.5 定义表 185

10.2.6 定义单元属性 186
10.2.7 定义温度边界条件 187
10.2.8 定义厚度场集合 188
10.2.9 定义温度场集合 190
10.2.10 定义组 190
10.3 基于二维壳单元的梁分析实例 191
10.3.1 创建数据库模型 192
10.3.2 创建几何模型 192
10.3.3 网格划分 193
10.3.4 定义载荷 194
10.3.5 定义位移边界条件 195
10.3.6 定义材料本构关系 196
10.3.7 定义单元属性 196
10.3.8 提交分析作业 197
10.3.9 查看结果 198
10.4 基于一维梁单元的梁分析实例 199
10.4.1 创建数据库模型 200
10.4.2 创建网格模型 200
10.4.3 定义位移边界条件 201
10.4.4 定义载荷边界条件 202
10.4.5 定义材料 203
10.4.6 定义单元属性 204
10.4.7 提交分析作业 206
10.4.8 查看结果 206
第 11 章 静力学分析 209
11.1 弹性力学的基本方程和变分原理 209
11.1.1 弹性力学基本方程的矩阵形式 209
11.1.2 弹性力学基本方程的张量形式 212
11.2 平板受力分析 213
11.2.1 创建一个数据文件 213
11.2.2 创建几何模型 213
11.2.3 划分有限元网格 214
11.2.4 设置边界条件及施加载荷 214
11.2.5 定义材料属性 215
11.2.6 定义单元属性 216
11.2.7 进行分析 216
11.2.8 查看分析结果 217
11.3 铰接桁架的受力分析 217
11.3.1 创建一个数据文件 218

11.3.2 划分有限元网格 218
11.3.3 设置边界条件及施加载荷 220
11.3.4 定义材料属性 223
11.3.5 定义单元属性 224
11.3.6 分析模型 224
11.3.7 查看分析结果 225
11.4 厚壁圆筒静力分析 225
11.4.1 建立一个数据文件 226
11.4.2 创建厚壁圆筒的一个纵截面 226
11.4.3 旋转截面生成三维实体 226
11.4.4 删除临时创建的截面 227
11.4.5 划分网格 227
11.4.6 定义材料属性 228
11.4.7 定义单元属性 228
11.4.8 施加边界条件，对各截面的法向位移进行约束 229
11.4.9 施加压强 230
11.4.10 分析模型 231
11.4.11 查看分析结果 231
11.5 箱体的静力分析实例 231
11.5.1 创建数据库模型 232
11.5.2 创建新组 232
11.5.3 抽取中面 232
11.5.4 几何清理 232
11.5.5 删除多余的面 234
11.5.6 自由网格划分 234
11.5.7 定义载荷边界条件 235
11.5.8 定义位移边界条件 236
11.5.9 定义材料本构关系 238
11.5.10 定义单元属性 238
11.5.11 提交分析作业 239
11.5.12 结果后处理 239
11.6 面与加强筋模型 241
11.6.1 创建数据库模型 241
11.6.2 创建几何模型 241
11.6.3 网格划分 245
11.6.4 定义载荷边界条件 247
11.6.5 定义位移边界条件 249
11.6.6 定义材料本构关系 250
11.6.7 定义单元属性 251

11.6.8 提交分析作业 254
11.6.9 结果后处理 254
11.7 装配体网格划分和模型分析 256
11.7.1 创建数据库模型 256
11.7.2 创建几何模型 256
11.7.3 自由网格划分 258
11.7.4 定义位移边界条件 260
11.7.5 定义载荷边界条件 262
11.7.6 定义材料本构关系 262
11.7.7 定义单元属性 263
11.7.8 提交分析作业 264
11.7.9 结果后处理 264
11.8 手柄静力分析实例 264
11.8.1 创建数据库模型 265
11.8.2 创建新组 265
11.8.3 创建新几何实体 266
11.8.4 分割几何实体 266
11.8.5 创建新几何实体 270
11.8.6 创建局部坐标系与网格划分 272
11.8.7 定义压力边界条件 274
11.8.8 定义位移边界条件 275
11.8.9 定义材料本构关系 276
11.8.10 定义单元属性 277
11.8.11 提交分析作业 277
11.8.12 结果后处理 278
第 12 章 屈曲分析 281
12.1 屈曲分析的步骤 281
12.2 薄壁圆筒屈曲分析 281
12.2.1 创建一个数据文件 282
12.2.2 创建几何模型 282
12.2.3 划分有限元网格 282
12.2.4 设置边界条件及载荷 283
12.2.5 定义材料属性 283
12.2.6 定义单元属性 284
12.2.7 进行分析 284
12.2.8 查看分析结果 284
12.3 板屈曲分析实例 286
12.3.1 创建数据库模型 287
12.3.2 创建几何与网格模型 287

12.3.3 定义材料本构关系 288
12.3.4 定义单元属性 288
12.3.5 定义位移边界条件 289
12.3.6 定义载荷边界条件 290
12.3.7 提交分析作业 291
12.3.8 结果后处理 292
第 13 章 模态分析 294
13.1 模态分析及其步骤 294
13.2 翼板的模态分析 294
13.2.1 建立模型的文件名 295
13.2.2 建立模型 295
13.2.3 划分有限元网格 295
13.2.4 设置边界条件 296
13.2.5 定义材料属性 296
13.2.6 定义单元属性 296
13.2.7 进行分析 296
13.2.8 查看分析结果 297
13.3 有预应力竖板的模态分析 297
13.3.1 创建一个数据文件 298
13.3.2 创建几何模型 298
13.3.3 划分有限元网格 299
13.3.4 设置边界条件及载荷 299
13.3.5 定义材料属性 301
13.3.6 定义单元属性 301
13.3.7 进行分析 302
13.3.8 查看分析结果 303
13.4 塔模态分析实例 304
13.4.1 创建数据库模型 304
13.4.2 分析求解设置 305
13.4.3 结果后处理 306
13.5 柔性地基的塔模态分析实例 308
13.5.1 创建数据库模型 308
13.5.2 建立柔性地基 308
13.5.3 定义单元属性 310
13.5.4 分析求解设置 310
13.5.5 结果后处理 312
13.6 含预应力的平板模态分析 313
13.6.1 创建数据库模型 313
13.6.2 创建几何与网格模型 314

13.6.3 边界条件定义 314
13.6.4 定义材料本构关系 317
13.6.5 定义单元属性 317
13.6.6 分析求解设置 318
13.6.7 结果后处理 320
第 14 章 瞬态响应分析 322
14.1 瞬态响应分析及其步骤 322
14.2 车灯瞬态响应分析 322
14.2.1 新建一个数据文件 322
14.2.2 读入数据文件 323
14.2.3 定义工况 324
14.2.4 创建载荷场 324
14.2.5 设置边界条件和施加载荷 325
14.2.6 定义材料属性 326
14.2.7 分析求解 326
14.2.8 结果后处理 328
14.3 汽车车身的瞬态响应分析 328
14.3.1 创建数据库模型 329
14.3.2 创建瞬态分析表 329
14.3.3 创建动态工况 330
14.3.4 边界条件定义 331
14.3.5 分析求解设置 333
14.3.6 结果后处理 336
第 15 章 频率响应分析 339
15.1 频率响应分析及其步骤 339
15.2 悬臂梁频率响应分析 339
15.2.1 创建一个数据文件 340
15.2.2 创建几何模型 340
15.2.3 划分有限元网格 341
15.2.4 创建工况 341
15.2.5 定义场 341
15.2.6 设置边界条件及载荷 341
15.2.7 定义材料属性 342
15.2.8 进行分析 342
15.2.9 查看分析结果 344
15.2.10 使用模态分析法求解 344
15.3 汽车车身的频率响应分析 345
15.3.1 创建数据库模型 346
15.3.2 建立MPC单元 346

15.3.3 建立动态工况 348
15.3.4 建立频响表 348
15.3.5 定义载荷边界条件 349
15.3.6 分析求解设置 349
15.3.7 结果后处理 352
第 16 章　随机响应分析 355
16.1　随机响应分析及其步骤 355
16.2　平板随机响应分析 356
16.2.1 创建一个数据文件 356
16.2.2 导入数据模型 356
16.2.3 创建有限元模型 356
16.2.4 设置随频率变化的单位载荷 358
16.2.5 创建载荷工况 358
16.2.6 定义材料属性 358
16.2.7 定义单元属性 359
16.2.8 创建载荷及修改边界条件 359
16.2.9 进行分析 361
16.2.10 随机响应分析 363
16.2.11 创建节点的PSD响应的XY曲线图 364
16.3　卫星的随机振动分析 366
16.3.1 创建数据库模型 367
16.3.2 创建频响分析表 367
16.3.3 创建动态工况 368
16.3.4 定义强迫加速度 368
16.3.5 设置频响分析 370
16.3.6 定义随机响应表 373
16.3.7 随机响应分析 373
第 17 章　非线性分析 377
17.1　非线性分析概述 377
17.2　弹塑性分析实例 378
17.2.1 创建一个数据文件 378
17.2.2 创建几何模型 378
17.2.3 划分有限元网格 380
17.2.4 设置边界条件及施加载荷 380
17.2.5 定义材料属性 382
17.2.6 定义单元属性 383
17.2.7 进行分析 383
17.2.8 查看分析结果 383
17.3 圆管变形分析 384

17.3.1 创建一个数据文件 385
17.3.2 创建几何模型 385
17.3.3 创建pipe的有限元模型 386
17.3.4 定义材料属性 388
17.3.5 定义单元属性 389
17.3.6 设置边界条件及施加载荷 389
17.3.7 进行分析 390
17.3.8 查看分析结果 392
17.4 金属样件拉伸的材料非线性实例 393
17.4.1 创建数据库模型 393
17.4.2 创建几何与网格模型 393
17.4.3 定义材料本构关系 394
17.4.4 定义单元属性 396
17.4.5 定义位移边界条件 398
17.4.6 提交分析作业 399
17.4.7 结果后处理 400
17.5 橡胶压缩实例 402
17.5.1 创建橡胶密封圈模型 402
17.5.2 定义材料本构关系 405
17.5.3 定义单元属性 406
17.5.4 定义位移边界条件 406
17.5.5 定义接触体 407
17.5.6 设置分析参数并提交分析 409
17.5.7 结果后处理 410
17.6 三维接触分析 412
17.6.1 创建数据库模型 412
17.6.2 创建几何与网格模型 413
17.6.3 定义材料本构关系 414
17.6.4 定义单元属性 415
17.6.5 定义位移边界条件 416
17.6.6 定义接触体 417
17.6.7 定义载荷工况 419
17.6.8 设置分析参数并提交分析 419
17.6.9 结果后处理 422
第 18 章 结构拓扑优化 423
18.1 拓扑优化概述 423
18.2 MBB梁拓扑优化实例 425
18.2.1 创建分析模型 425
18.2.2 创建拓扑优化模型 425

18.2.3 拓扑优化的后处理 428
18.3 含制造约束的短悬臂梁拓扑优化实例 430
18.3.1 创建分析模型 430
18.3.2 创建拓扑优化模型 431
18.3.3 拓扑优化的后处理 432
18.3.4 定义拉伸方向的制造约束 432
18.3.5 定义平面对称的制造约束 434
18.4 连杆的拓扑优化实例 434
18.4.1 创建分析模型 435
18.4.2 创建拓扑优化模型 435
第 19 章　热传导分析 438
19.1　热分析基础 438
19.1.1 热分析简介 438
19.1.2 热分析的类型 439
19.2　空间热辐射分析实例 439
19.2.1 创建一个数据文件 440
19.2.2 创建几何模型 440
19.2.3 划分有限元网格 441
19.2.4 设置边界条件及施加载荷 441
19.2.5 定义材料属性 443
19.2.6 进行分析 443
19.2.7 查看分析结果 443
19.3　自由对流热分析实例 445
19.3.1 创建一个数据文件 445
19.3.2 创建几何模型 445
19.3.3 划分有限元网格 446
19.3.4 定义材料属性 447
19.3.5 创建边界条件及载荷 448
19.3.6 进行热分析 448
19.3.7 查看分析结果 448
19.4　双金属片热应力分析实例 449
19.4.1 创建一个数据文件 449
19.4.2 创建几何模型 450
19.4.3 划分有限元网格 451
19.4.4 定义热材料属性 451
19.4.5 定义温度边界条件 452
19.4.6 进行热分析 453
19.4.7 查看分析结果 453
19.4.8 定义空间场 453

19.4.9 更改分析类型 454
19.4.10 定义结构分析的材料属性 454
19.4.11 定义结构分析的单元属性 455
19.4.12 创建结构分析工况 455
19.4.13 设置结构分析边界条件及载荷 455
19.4.14 进行结构分析 455
19.4.15 查看分析结果 456
19.5 方向热载荷作用下的热应力分析实例 457
19.5.1 创建一个数据文件 457
19.5.2 创建几何模型 457
19.5.3 划分有限元网格 459
19.5.4 定义材料属性 459
19.5.5 定义单元属性 459
19.5.6 创建边界条件及载荷 460
19.5.7 进行热分析 461
19.5.8 查看分析结果 461
19.5.9 创建空间场 462
19.5.10 更改分析类型 462
19.5.11 定义结构分析的材料属性 462
19.5.12 定义结构分析单元属性 463
19.5.13 创建结构分析工况 463
19.5.14 设置结构分析边界条件及载荷 463
19.5.15 进行结构分析 463
19.5.16 查看分析结果 464
19.6 稳态热传导分析实例 465
19.6.1 创建数据库模型 465
19.6.2 定义材料表 465
19.6.3 定义材料本构关系 466
19.6.4 定义单元属性 466
19.6.5 建立温度边界条件 468
19.6.6 提交分析作业 470
19.6.7 查看结果 470
19.7 瞬态热传导分析实例 471
19.7.1 创建数据库模型 472
19.7.2 创建几何模型 472
19.7.3 网格划分 472
19.7.4 定义材料本构关系 474
19.7.5 定义单元属性 474
19.7.6 创建瞬态分析表 475

19.7.7 创建瞬态工况 476
19.7.8 建立温度边界条件 477
19.7.9 提交分析作业 479
19.7.10 查看结果 480
参考文献 482

第 1 章　概述

内容导航



本章介绍了 MSC 公司及其主要产品 Patran 和 Nastran 的功能。

通过本章的学习，读者可以对 CAE 领域有大概的了解，本章还简要介绍了 Patran 建模的基本操作以及 Nastran 的各种功能，为读者后面使用 Patran 建模和 Nastran 分析打好基础。

重点剖析

* MSC 各种产品的功能
* Patran 的基本功能
* Nastran 的基本功能

1.1　MSC 公司及其产品介绍

随着市场竞争的日趋激烈，制造厂商们对 CAE 在产品设计制造过程中的重要作用认识得越来越清楚。CAD 技术着重解决的是产品的设计质量问题（如造型、装配、出图等）；CAM 技术着重解决的是产品的加工质量问题；而 CAE 技术着重解决的是产品的性能问题。一方面由于 CAD/CAM 系统间各具特色，另一方面由于产品性能仿真所涉及的内容及学科多样性、合作对象的多元化，所以设计和制造厂商对于能够将各种设计、分析、制造、测试软件紧密有效地集成为一个易学易用的完整框架系统的需求也就变得更加迫切，从而最大限度地降低开发成本、加快产品投放市场和缩短设计周期。

MSC.Software 公司的产品被广泛应用于各个行业的工程仿真分析，包括国防、航空航天、 机械制造、汽车、船舶、兵器、电子、铁道、石化、能源、材料工程、科学研究及大专院校等各个工业领域，

MSC.Software 公司的核心产品的目标是向用户提供全面、优秀的高级仿真工具，用来辅助提高用户的产品性能。MSC.Software 公司聚焦于评估协同设计能力和多学科的应用，软件可以帮助公司开发出高质量的产品，包括航空航天、汽车、铁道、机械工业、医药和电器设备等。MSC.Software 通过几十年的开发、调试和应用，为客户提供了最好，最有权威的虚拟产品的性能评估工具。MSC.Software 的产品能够帮助用户减少物理试验的次数，以达到节约成本的目的，评估配置的合理性降低风险，提高产品的质量，缩短开发周期。MSC.Software 的产品及功能如表 1-1 所示。

表 1-1　MSC.Software 的产品和功能

产品名称	主要功能
MSC.Actran	全面的预测结构和机械系统声场和振动－声场性能的工具
MSC.Acumen	实现特定任务客户化的工具
MSC.Akusmod	以 MSC.Nastran 为基础的内噪声预测仿真系统
MSC.ADAMS	世界上应用最广泛的机械系统仿真软件
MSC.Dytran	解决仿真高度非线性、瞬态动力学响应和流－固耦合问题的通用软件
MSC.EASY5	虚拟系统的建模、分析和控制软件
MSC.Explore	观察 MSC.Patran 对 MSC.Nastran 等软件计算结果后处理的工具
MSC.Fatigue	建立在 CAE 技术基础上的疲劳耐久性分析软件
MSC.FlightLoads	是 MSC 公司与美国波音公司、洛克希德－马丁公司、诺斯罗普－格鲁门公司在 Patran 和 Nastran 及相关公司内部软件基础上联合开发的专门针对各类航空航天及武器系统等各类飞行器设计的飞行载荷及动力控制仿真系统
MSC.Marc	处理高度组合非线性结构、热及其他物理场和耦合场问题的高级有限元软件
MSC.Mvision	是当今世界上唯一全面的商品化材料数据信息系统
MSC.Nastran	世界上最广泛被采用的有限元程序，解决从简单到复杂、结构线性、非线性、热、流体和耦合系统问题
MSC.Optishape	是在 MSC.Patran 界面环境下，基于 MSC.Nastran 求解器的拓扑及形状优化概念化设计软件系统
MSC.Patran	有限元建模前处理软件
MSC.SuperForm	是二维和三维体成型过程仿真的专用软件
MSC.Supermodel	功能强大且易于使用的集 CAE 过程，文件及分析管理于一体的集成系统，其中包含了针对大型结构和组装件的先进的建模特征。特别适用于航空航天、汽车、船舶等大型系统
MSC.visual NastranV5i	MSC.visual Nastran 与 CATIA V5 环境无缝集成

1.2　Patran 介绍

MSC.Patran （后面统一简称为 Patran）是一个集成的并行框架式有限元前后处理及分析仿真系统。Patran 最早由美国宇航局（NASA）倡导开发，是工业领域最著名的并行框架式有限元前后处理及分析系统，其开放式、多功能的体系结构可将工程设计、工程分析、结果评估、用户化设计和交互图形界面集于一身，构成一个完整的 CAE 集成环境。使用 Patran，可以帮助产品开发用户实现从设计到制造全过程的产品性能仿真。Patran 拥有良好的用户界面，便于用户学习和使用。

1.2.1　图形用户界面

Patarn采用符合Open Software Foundation (OSF) Motif标准全新的图形用户界面，直观

的鼠标驱动菜单和表格系统可用于输入命令。友好的用户界面条理清晰，最多不超过三级的菜单，使用户可随意接通任何分析任务。丰富的电子表格工具，如弹出或下拉式菜单与表格、滑动条、图形图标、按钮。"单击和拖动"和多功能屏幕拾取选择等，可用于输入和管理数据。各类表格均使用普通的工程术语，而不是特定代码命令语法和缩写，当需要时辅助表格或自动弹出或自动消失，整个界面系统始终给人一种直观的感觉。

Patran基于Motif的图形菜单和电子表格系统不但易学易用，而且可通过在线帮助系统提供整个Patran用户手册并允许快速定位所需信息。

为方便工程师使用，Patran的整个用户手册系统全部处于“等待激活状态”，并可在分析任务需要帮助的任意时刻被激活提供读取信息。

在主题帮助中，用户可简单选取“Help”，并从“内容表”上选择期望的主题信息，一旦选定内容，文档中相应信息就会出现在屏幕上供用户读取。

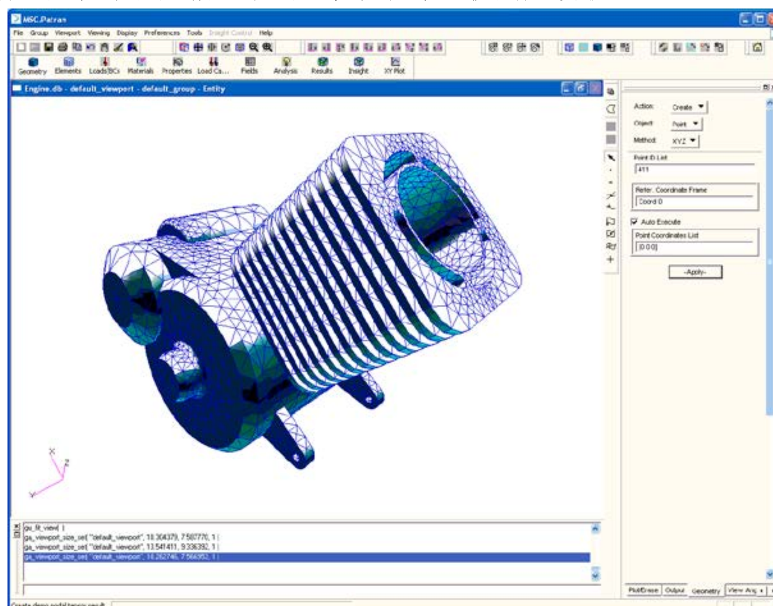


图 1-1　Patran 界面

1.2.2　CAD 几何模型的直接访问

Patran自诞生之日起就作为世界一流的有限元分析前后处理器，其本身不但可以作为一个完整的应用系统独立运行，进行各种复杂模型的实体建模，配合满足不同需求的可选应用模块完成各种工程分析。

并行CAE工程的设计思想使Patran从另一个角度打破了传统有限元分析的前后处理模式，其独有的几何模型直接访问技术(Direct Geometry Access, DGA)为基础的CAD/CAM软件系统间的几何模型信息传递，以及各类分析模型无缝连接提供了完美的集成环境。使用DGA技术，应用工程师可直接在Patran框架内访问现有CAD/CAM系统数据库，读取、转换、修改和操作正在设计的几何模型而无需复制。Patran支持不同的几何传输标准，包括Parasolid、ACIS、STEP、IGES等格式。

有限元分析模型可从CAD几何模型上快速直接生成，用精确表现真实产品设计取代以往的近似描述，进而省去了在分析软件系统中重新构造几何模型的传统过程。Patran所生成的分析模型（包含直接分配到CAD模型上的载荷、位移、材料和单元特性等）将驻留在Patran的数据库中，而CAD几何模型将继续保存在原有的CAD/CAM系统中，当相关的设计模型存储在Patran中并生成有限元网格时，原有的设计模型将被标记。设计与分析之间的相关性可使用户在Patran中迅速获取几何模型的任何改变，并能重新观察新的几何模型确保分析的精度。Patran软件通过世界范围内与先进的CAD/CAM软件建立紧密而重要的合作来实现并行工程和DGA技术，保证用户在同步的工程环境下从一个或多个CAD系统中获取CAD信息。这些先进的CAD/CAM软件包括CADDS5、CATIA、EUCLID、Pro/ENGINER、Unigraphics、SolidWorks等。

对于其他CAD均可依据其所遵循的标准进行访问。以上读入的CAD信息包括几何点、曲线、曲面、曲面和实体、Unigraphics的特征。其中对于Unigraphics的特征不但可以读入PATRAN，而且可以在PATRAN中根据分析的要求进行更改，随后特征仍可返回UG供CAD设计修改使用。

Patran EXPRESS中间文件可用于在不同平台之间传递几何模型。STEP或IGES文件主要用于任意CAD的几何数据的输入和输出。

1.2.3　几何造型功能

Patran提供了一系列的基于Parasolid的几何造型和编辑功能，不但可以编辑读入的CAD几何并划分有限元网格，而且可以通过布尔运算独立创建各种复杂的几何模型。统一的菜单形式提供了以下主要建模功能。

支持多种几何要素包括点、曲线、曲面、Trimmed裁剪曲面、Parasolid实体、三参数实体、B-rep实体；多种生成方式包括平移、转动、比例缩放、镜像、抽取中面、倒角、要素相交、投影、几何序号的重新排序等。此外还包含了曲线、曲面合并功能，任意局部坐标系设定选项，重心、形心、转动惯量等几何模型的质量和几何特性计算。

1.2.4　分析集成

作为世界一流的前后处理器，Patran可根据不同分析软件选择设置不同的工作环境，可满足用户对使用效益和集成的需求，而无需像以前那样当一个模型要进行不同的分析时，必须针对不同的分析软件特点重复建模。Patran界面内可直接选择的求解器包括：MSC.Nastran、MSC.Dytran、MSC.Marc、FE.Fatigue、MSC.Superforge和ANSYS等，如图1-2所示。中性文件选择使Patran方便地把任何第三方分析器通过此格式与Patran集成在任意的分析求解器，一方面用户可通过中性文件选择与其他

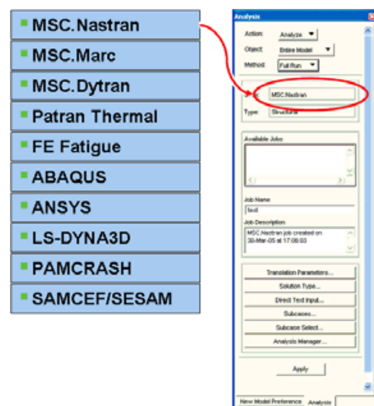


图 1-2　Patran 分析功能集成

第三方分析求解器进行连接，另一方面可通过Patran强大的PCL功能直接将用户自编的软件嵌入Patran的框架系统。

当用户拥有不同的分析软件时，用户只需在Patran中建立一个模型即可通过分析选择不同的分析软件进行计算校核，而不必像以往那样，针对不同的分析软件构造不同的分析模型。如当使用Patran的分析模型进行结构分析时，可切换求解器到MARC使用同一模型进行非线性热分析。

1.2.5　有限元建模

Patran提供了功能全面、方便灵活的可满足各种分析精度要求的复杂有限元建模能力。其综合全面、先进的网格划分技术，为用户根据不同的几何模型提供了多种不同的生成和定义有限元模型工具，包括多种网格划分器、有限元模型的编辑处理、单元选定、任意梁截面建模、位移和载荷定义以及交互式计算结果后处理。

Patran快速曲面网格生成器功能包括任意二维曲面网格生成和缝合；用户定义局部或全局单元尺寸；网格自动光顺以确保网格质量；网格密度控制包括曲率检查；无曲面的面网格；板壳元中性面自动提取与网格划分；先进的算法保证在边界和特殊区域的网格形状最优化；基于p-单元的分析。自动实体单元网格生成器功能包括任意三维几何体的自动四面体网格生成；强大的网格密度控制功能，包括曲率控制和基于临近面的网格划分(Proximity-based Meshing)；先进的算法保证边界及重要区域网格的最优形状；四面体网格诊断信息详尽，能准确定位几何缺陷。映射网格生成器功能包括单一命令多种网格划分选项；均匀或非均匀（包括单方向、双方向及基于曲率的网格划分）控制；网格过渡控制；网格种子控制；用户自定义的网格平滑处理。扫掠网格生成器功能包括二维和三维单元可从低一阶次的单元扫掠形成，扫掠方法含圆弧方向、柱面径向、拉伸方向、球面径向、球面周向。

除了优异的网格划分技术外， Patran还拥有一些独特的网格处理功能，将进一步大大方便用户的使用，如网格的优化处理、单元验证试验等。具体包括自动硬点生成；自动产生高阶单元的边中、面中或中心节点；单元平移、转动、镜像和比例缩放以及复制和管理单元；节点和单元的修改编辑；单元细化；一个几何体对应多种不同网格划分并存在于同一个数据库；节点、单元编号控制。有限单元检查包括壳单元的长宽比、翘曲、扭曲、阶梯性及法向的一致性检查；高阶壳单元的法向和切向偏置检查；实体单元的细长比、内角、扭曲、表面扭曲、表面阶梯性、表面翘曲、四面体间隙、单元连接、雅克比测试及重合检查；单元自由边和自由面的图形显示，如图1-3所示。

梁作为工程领域最为常见的一种结构形式，在结构分析中占据了十分重要的地位。如何高效地处理梁或板梁实体组合的有限元模型是所有结构分析工具必须面临的问题。人们以为由于工具的限制都是将三维简化为一维来处理，经常会造成空间梁的拜访位置和方向错误，使得计算失去意义。在Patran中设计人员可十分方便地处理各种梁或梁的有限元组合模型。对于通行的标准梁截面如I形、工字形等内嵌的梁单元库中均以参数的方式提供给用户，并通过三维摆放保证分析模型的正确性。除了常规梁单元库外，Patran还提供了任意梁截面计算和模型处理方法，使得设计师能够随心所欲地选择各种形状的梁截面设计出结构更合理的产品。

在Patran中，结构分析所施加的载荷等边界条件可直接作用于几何或有限元模型上，具体包括集中点、边线、平面、柱面或球面内、实体等。载荷形式包括力和力矩、压力或面分布力、强迫位移、速度、加速度等、温度、热通量等，如图1-4所示。

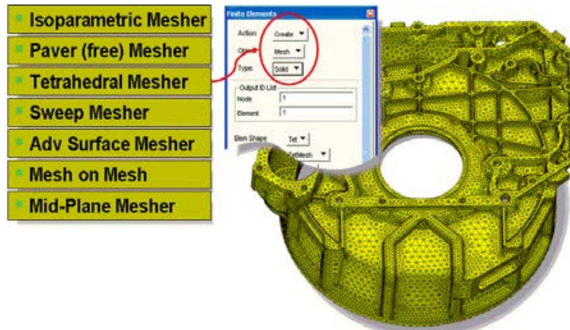


图 1-3　Patran 网格划分功能

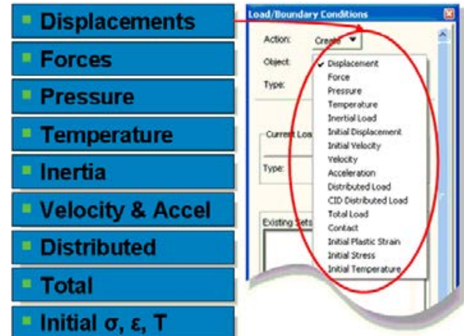


图 1-4　Patran 载荷施加功能

1.2.6　结果交互式可视化后处理

Patran提供了多种计算分析结果可视化工具，帮助工程师灵活、快速地理解载荷作用下复杂行为，如结构变形、温度场、疲劳寿命、流体流动等。结果图显示类型包括等值图、彩色云图、连续色彩云带、混合云带、单元填充显示、矢量显示、张量显示、x-y曲线显示等，如图1-5所示。输出结果颜色范围包括半自动、手工等。组合结果值选项包括在单元中心或节点显示、节点结果仅在可见的表面显示、仅显示用户选定的节点和单元的结果。输出图形格式包括BMP、JPEG、MPEG、PNG、TIFF、VRML等。

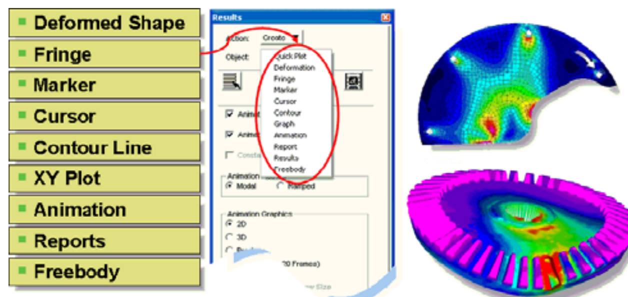


图 1-5　Patran 后处理功能

1.2.7　高级用户化工具

Patran命令语言(PCL)是Patran一个高级、模块化结构的编程语言和用户自定义工具，类似C语言和FORTRAN语言，可用于生成应用程序或特定的用户界面。显示自定义图形、读写Patran数据库、建立新的或增强功能。同时通过PCL，其他商品化或自编分析程序可被集成到Patran软件系统中。PCL的主要功能包括命令行表达式输入、可编译的命令库函数、丰富的表格及菜单库供用户开发用户图形界面、递归的子程序和函数调用、同类函数

归于一个类、条件分支语句、条件循环语句、数据库的访问存取工具、定义各种类型的变量、任意变量类型的数组、虚拟内存数组及数组内存管理功能、跟踪调试工具、数组排序和搜索、二进制及文本文件读写功能、图形绘制函数、模型管理程序等。

1.3　Nastran 软件功能介绍

Nastran 是由 MSC.Software 公司推出的一个大型结构有限元分析软件，具有很高的软件可靠性、品质优秀，得到有限元界的肯定，众多大公司和工业行业都用 Nastran 的计算结果作为标准代替其他质量规范。Nastran 具有开放式的结构，全模块化的组织结构使其不但拥有很强的分析功能而又保证很好的灵活性，使用者可针对根据自己的工程问题和系统需求通过模块选择、组合获取最佳的应用系统。此外， Nastran 还为用户提供了强大的开发工具 DMAP 语言。

针对实际工程应用, Nastran 中有近 70 余种单元独特的单元库。所有这些单元可 满足 Nastran 各种分析功能的需要, 且保证求解的高精度和高可靠性。模型建好后, Nastran 即可进行分析，如动力学、非线性分析、灵敏度分析、热分析等。此外，Nastran 的新版本中还增加了更为完善的梁单元库，同时新的基于 P 单元技术的界面单元的引入，可有效地处理网格划分的不连续性(如实体单元与板壳单元的连接), 并自 动地进行 MPC 约束。Nastran 的 RSSCON 连接单元可将壳－实体自动连接，使组合结构的建模更加方便。

1.3.1　静力分析

Nastran 的静力分析功能支持全范围的材料模式，包括各向同性材料、正交各向异性材料、各向异性材料和随温度变化的材料等。主要的分析类型除常规的静力计算外，还包括惯性释放静力分析，即考虑结构的惯性作用，计算无约束自由结构在静力载荷和加速度作用下产生的准静态响应；非线性静力分析，即几何大变形非线性、塑性和蠕变等材料非线性及考虑接触状态的边界非线性等。

1.3.2　屈曲分析

屈曲分析主要用于研究结构在特定载荷下的稳定性以及确定结构失稳的临界载荷等问题。Nastran 屈曲分析包括线性屈曲，又称为特征值屈曲，可以考虑固定的预载荷，也可以使用惯性释放功能；非线性屈曲，可以考虑包括大变形几何非线性、材料非线性的弹塑性失稳分析和非线性后屈曲(Snap-through)分析。

1.3.3　动力学分析

结构动力学分析是 Nastran 的主要强项之一。不同于静力分析，结构动力分析常用来

确定随时间或频率变化载荷对整个结构或部件的影响，同时还要考虑各种阻尼和惯性效应的作用。Nastran 动力学分析功能包括正则模态分析、复特征值分析、频率及瞬态响应分析、随机响应分析、冲击谱分析、动力灵敏度分析、声学分析等。振动中小以及超大型问题不同的解题规模，用户可选择 Nastran 不同的动力学方法加以求解。

Nastran 不但可以求解部件和装配件的频率响应函数，而且具有频响函数装配功能，通过频响函数装配，可以由部件或子系统的频响函数得到整个装配件的频率响应函数，从而研究系统各部件之间的耦合关系，确定振动和噪声的传递路径，为减振降噪提供工程指导。

1.3.4　热分析

热传导分析通常用来校验结构零件在热边界条件或热环境下的产品特性，利用 Nastran 可以计算出结构内的热分布状况，并直观得看到结构内潜热、热点位置及分布。用户可通过改变发热元件的位置、提高散热手段、绝热处理或用其他方法优化产品的热性能。

Nastran 可以解决包括传导、对流、辐射、相变在内所有的热传导现象，并真实地仿真各类边界条件，构造各种复杂的材料和几何模型、模拟热控系统，进行热-结构耦合分析。

Nastran 提供了适于稳态和瞬态热分析的线性、非线性两种算法。SINDA/G 和 P/Thermal 的高级热分析功能将集成到 Nastran SOL400 中，同时，可以连接多种商业化的空间轨道热分析软件，如 THERMICA，NEVADA，TSS，TRASYS 和 SINDARad 等，在这些软件中计算出来的辐射交换系数和 12 个瞬态求解器，用户可以指定求解器求解，同时支持双精度计算。

Nastran 支持热固链式分析和完全的热固耦合分析。在热固链式分析中，热分析的网格可以和结构分析的网格不同，热分析的结果将自动插值得到结构网格中。支持热接触功能，热可以通过接触传递，大大方便了建模，为航天航空结构、汽车发动机、刹车系统、动力总成等的热分析提供了有力的解决工具，如图 1-6 所示。

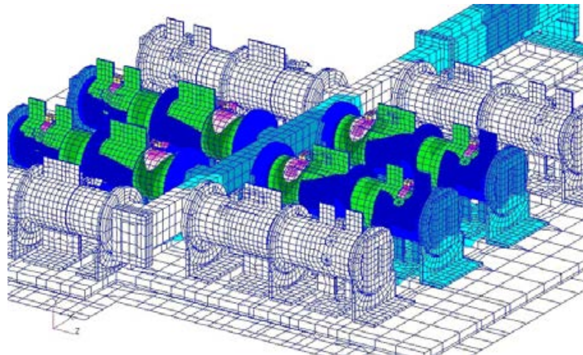


图 1-6　Nastran 热分析

1.3.5　空气动力弹性及颤振分析

高速行驶的飞行器和受高速气流作用的结构在空气动力和气流扰动的作用下会产生变形和弹性振动，进而会引起附加的气动力，而附加气动力又使结构产生附加的变形和运

动。气动弹性力学就是研究空气动力、弹性力学和惯性力之间的相互作用以及由此引起的对飞行器设计影响的一门边缘学科。颤振现象的本质是气动弹性动不稳定现象。

气动弹性问题涉及气动、惯性及结构间的相互作用，飞机、直升机、导弹乃至高耸的电视发射塔、烟囱等都需要气动弹性方面的计算。Nastran 的气动弹性分析功能主要包括静态气弹分析、动态气弹分析、颤振分析、气弹优化等。

1.3.6　流固耦合分析

流固耦合分析主要用于解决流体与结构之间相互作用效应。主要应用在汽车 NVH、列车车辆和飞机客舱等的内噪声预测分析以及考虑流体质量影响流体中结构如舰船的模态特性分析等。Nastran 中拥有多种方法求解完全流固耦合分析问题，包括流固耦合法、水弹性流体单元法、虚质量法。

流固耦合法广泛应用于声学和噪声控制领域中，如发动机噪声控制、汽车车厢和飞机客舱内的声场分布控制和研究、NVH 等。分析过程中，利用直接法和模态法进行动力响应分析。流体假设是无旋和可压缩的，分析的基本控制方程是三维波方程，两种特殊的单元被用来描述流固耦合边界。此外， Nastran 新增加的声吸收单元可以精确描述材料的频变吸声性能，方便地模拟汽车座椅、内饰材料等。（噪）声学载荷由节点的压力来描述，既可以是常量，又可以是与频率或时间相关的函数，还可以是声流容积、通量、流率或功率谱密度函数。对于不同结构产品的噪声影响结果可被分别输出。对于频率范围较宽，模型规模较大的声场分析可以方便结合 Nastran 的 ACMS 方法，同时利用并行计算技术、超单元技术，大大提高计算效率和精度。

水弹性流体单元法通常用来求解具有结构界面、可压缩性及重力效应的广泛流体问题。水弹性流体单元法可用于标准的模态分析、瞬态分析、复特征值分析和频率响应分析。当流体作用于结构时，要求必须指出耦合界面上的流体节点和相应的结构节点。自由度在结构模型中是位移和转角，而在流体模型中则是轴对称坐标系中调和压力函数的傅立叶系数。类似结构分析，流体模型产生“刚度”和“质量”矩阵，但具有不同的物理意义。载荷、约束、节点排序或自由度凝聚不能直接用于流体节点上。

虚质量法是仅考虑流体质量对结构的影响。

Nastran 的声场分析功能还集成了 Actran 的声学求解技术，不但可以进行内声场的分析，还可以进行外声场的分析。可以分析结构的声辐射、声传播，吸收，散射以及结构声振耦合问题等。并且最大的特点是可以求解大型结构的内外声结构耦合分析和优化，如整车的声响分析和动力系统的声辐射。

1.3.7　多级超单元分析

超单元分析是求解大型问题的一种十分有效的手段，特别是当工程师打算对整体结构进行局部修改或进行详细分析的时候，超单元主要是通过把整体结构分解成小的子部件来进行分析，即将结构的特征矩阵压缩成一组主自由度，类似于子结构方法，但具有更强的

功能且更易于使用。子结构可使问题表达简单、计算效率提高、计算机的存储量降低。超单元分析则在子结构的基础上增加了重复和镜像映射以及多层子结构功能，不仅可单独运算而且可与整体模型混合使用，结构中的非线性与线性部分分开处理可以减小非线性问题的规模。应用超单元工程师仅需对所关心的，影响较大的超单元部件进行重新计算。

多级超单元分析是 Nastran 的主要强项之一，适用于所有的分析类型。超单元分析主要是通过把整体结构分化成很多小的部件来进行分析。应用超单元，工程师仅需对那些所关心的受影响大的超单元部分进行重新计算，从而使分析过程更经济、更高效，避免了总体模型的修改和对整个结构的重新计算。Nastran 优异的多级超单元分析在大型工程项目中得到了广泛使用，如飞机的发动机、机身、机翼、舱门等在最终装配出厂前可由不同地区和不同国家分别进行设计和生成，此间每一项目分包商不但可利用超单元功能独立进行各种结构分析，而且可通过数据通信，在某一地利用模态综合技术通过计算机模拟整个飞机的结构特性。

1.3.8　高级对称分析

针对结构的对称、反对称、轴对称或循环对称等不同的特点， Nastran 提供了不同的算法。类似超单元分析，高级对称分析可大大压缩结构分析问题的规模，提高计算效率。

很多结构，包括旋转机械乃至太空中的雷达天线，经常是由绕某一轴循环有序周期性排列的特定的结构件组成，对于这些结构通常就要用循环对称或称之为旋转对称方法进行结构分析。在分析时仅需要选取特定的结构件即可获得整个组件结构的计算结果，可以减少计算和建模的时间。循环对称可分为两种类型，即简单循环对称和循环复合对称。简单旋转对称中，对称结构件没有平面镜像对称面且边界可以双向弯曲曲面；复合循环对称中，每个对称结构件具有一个平面镜像对称面，且对称结构件之间的边界是平面。循环对称分析通常可解决线性静力、模态、屈曲及频率响应分析等问题。

最特殊的是轴对称问题，可以用轴对称单元模拟，也可以用循环对称的方法简化模型。

1.3.9　设计灵敏度及优化分析

设计优化是为了满足特定优选目标如最小重量、最大第一阶固有频率或最小噪声级等的综合设计过程。Nastran 拥有强大、高效的设计优化能力，其优化过程由设计灵敏度分析与优化两大部分组成，可对静力、模态、屈曲、瞬态响应、频率响应、气动弹性和颤振分析进行优化。高效的优化算法允许在大模型中存在上百个设计优化变量和响应。设计灵敏度支持并行环境下的计算，大大提高了设计灵敏度的计算效率。

除了具有结构优化和零部件详细设计过程的形状和尺寸优化设计的能力外。Nastran 同时也集成了适于产品概念设计阶段的拓扑优化功能。

拓扑优化是与参数化形状优化或尺寸优化不同的非参数化形状优化方法。在产品概念设计阶段，为结构拓扑形状或几何轮廓提供初始建议的设计方案。拓扑优化还包括 Topometry 功能，它可以以每个单元作为设计变量，根据设定的目标，优化每个单元的厚

度（材料分布）；Topography（形貌）优化，优化板壳的形貌。拓扑优化的过程中可以考虑加工工艺要求，以保证优化后的结构能被制造出来。Topometry 优化还支持复合材料层厚度的优化。图 1-7 所示为某零件拓扑优化前后的结构对比。

另外， Nastran 还综合了尺寸、形状和拓扑优化，更快速地找到优化路径外噪声响应优化，可以将汽车的 NVH 优化分析扩展到外声场随机优化；SOL 200 可以有粘接接触，这个是特有的装配体优化功能；部件超单元化，使用超单元优化提高优化效率。

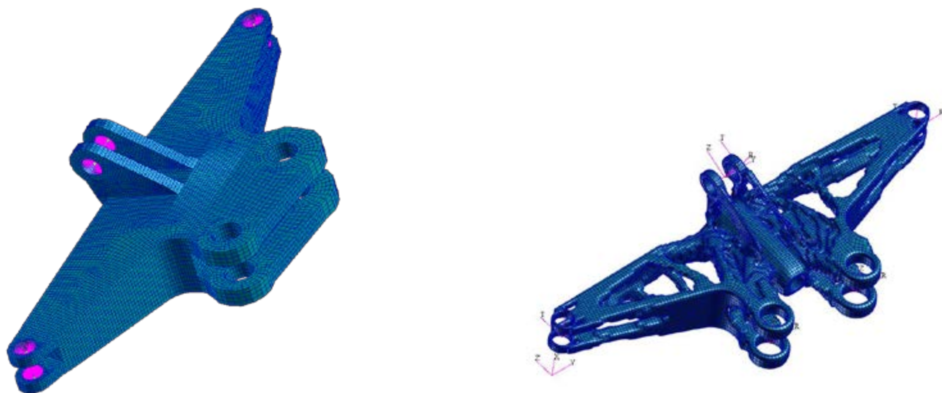


图 1-7　Nastran 拓扑优化实例

1.3.10　转子动力学特性分析

转子动力学主要应用在电力、核能、石化、机械、航空与航天等部门，解决旋转机械的动力设计、振动分析、故障诊断等问题。它的主要任务是分析临界转速、转子不平衡引起的同步振动响应、开始失稳的门槛转速、预计转子在加速或减速过程中的瞬态响应。

Nastran 的转子动力学功能提供给用户相对简便的方法来进行旋转机构的设计和分析。可以进行频响分析（直接法和模态法）、复模态（直接法与模态法）、静态、线性瞬态与非线性瞬态（只有直接法）分析，以满足设计上的需求。

频响分析用来分析转子-支承系统受到任意激励的响应，既可以计算与转速无关的外部激励的响应，也可以计算由于转子不平衡或其他与转速相关激励所产生的响应。

复模态分析可计算涡动频率与临界转速，涡动模态是转子-支承系统在转子以某一特定转速转动情况下的模态。临界转速是影响转子设计最重要的指标。

静态分析用来分析由于偏斜等因素造成的载荷影响，避免转子叶片或其他定子部分的摩擦。

1.3.11　概率有限元分析

Nastran 的概率有限元分析基于 Monte Carlo 技术，将用户产品设计参数的不确定性集成到 Nastran 的模型中，考虑材料、载荷边界条件、模型几何尺寸和模型装配等方面的公差对分析结果的影响。

1.3.12 与 ADAMS 进行刚/柔性多体动力学分析

Nastran 可与 ADAMS 无缝集成，进行刚体、柔体混合的多体运动学、动力学分析。ADAMS 进行柔性体分析需要的模型中性文件 MNF，是 Nastran 的标准输出结果。Nastran 的求解输出可以导入到 ADAMS 中进行刚/柔耦合分析，同时 ADAMS 的线性化系统模型也能导入到 Nastran 中进行结构有限元分析。

1.3.13 Nastran 的并行求解方法

Nastran 有多种并行求解方法：

(1) 支持共享内存式单机多 CPU 并行 SMP；

(2) 分布式多机多 CPU 并行 DMP；

(3) 基于几何区域、频率区域和自由度区域的并行 Lanczos 法；

(4) 并行的自动部件模态综合(PACMS)；

1.3.14 多种求解方法

线性方程组求解：直接法、迭代法、多前沿稀疏法、并行法等；

实特征值求解：Lanczos 法、增强逆迭代法、Givens 法、改进 Givens 法、Householder 法、带 Sturm 序列检查的逆迭代法等；

复特征值求解：Delerminated 法、Hessenberg 法、新 Hessenberg 法、逆迭代法、Lanczos 法等；

非线性方程组求解：全牛顿-拉夫森法、修正的全牛顿-拉夫森法、有应变修正的全牛顿-拉夫森法；

矩阵运算优化算法：致密乘致密法、致密乘稀疏法、稀疏乘稀疏法、稀疏乘致密法、稀疏法、三重乘法和并行算法等。根据具体问题，自动选择最优的矩阵算法；

矩阵分解方法：对称矩阵的 Cholsky 法、非对称矩阵的标准法；

带宽优化算法：Cuthill-McKee 法、Gbbs-Pool-Stk 法和混合算法等。优化准则包括波前均方根最小、带宽最小、轮廓最小、波前上限最小等。

1.3.15 用户化开发工具 DAMP 语言

作为开放式体系结构， Nastran 的开发工具 DAMP 语言(Direct Matrix Abstraction Program)有着 30 多年的应用历史。一个 DAMP 模块可由成千上万个 FORTRAN 子程序组成，并采用高效的方法来处理矩阵。实际上 Nastran 是由一系列 DAMP 子程序顺序执行来完成求解任务的。用户可利用 DAMP 编写用户化程序，来操作数据库与数据流。

第 2 章　Patran 建模和 Nastran 分析过程

内容导航



本章主要介绍了 Patran 和 Nastran 的安装过程、Patran 的用户界面以及使用 Patran 和 Nastran 的一般流程，同时对单位制及操作分析过程中的各类文件进行了介绍。

通过本章的学习，读者可以了解 Patran 及 Nastran 的安装方法，以及 Patran 界面上各种菜单、按钮以及图标的功能，最后通过对典型问题的分析读者可以对 Patran 建模和 Nastran 分析有初步的了解。

重点剖析

* Patran 建模和 Nastran 分析的流程
* 各种相关文件的含义
* 单位制

2.1　有限元分析简介

有限单元分析(FEA)，也称为有限单元法，它是求解场问题数值解的一种方法。场问题需要确定一个或多个相关变量的空间分布。在数学上，一个场问题由微分方程或积分表达式描述。每种描述都可用于有限元列式。在通用有限元分析程序中包含了现有形式的有限元列式。

单个的有限单元可形象化地视为结构的一小片。“有限”这个词区分了这些小片和微积分中的无穷小微元。在每个有限单元中，允许一个场量仅有简单的空间变化。单元所跨区域内的实际变化几乎可以肯定比较复杂，因此有限元法提供的仅是近似解。单元的连接点叫做“节点”。单元的集合称为有限元结构，通常用的“结构”一词意味着已定义的物体或区域。特定的单元排列称为网格。在数值分析中，有限元网格用待求节点未知量的代数方程组来表示。节点上的未知量是场量的值，它依赖于单元的形状，或许也依赖于它的一阶导数。节点值的解，当它和给定单元上的场量结合起来时，完全决定了单元上场的空间变化。这样整个结构上的场量，以分段的形式逐个单元近似。尽管有限元解不是精确解，但是可以通过对结构划分更多的单元来提供解的精度。

有限元法具有许多优点，包括通用性强和物理概念明确，主要的优点包括：

- 有限元分析可以运用于任何场问题：热传导、应力分析、磁场问题等。
- 没有几何形状的限制，所分析的物体区域可以具有任何形状。
- 边界条件和载荷没有限制。
- 材料性质并不限于各向同性，可以从一个单元到另外一个单元变化，甚至在单元内也

可以有所不同。

- 具有不同行为和不同数学描述的分量可以结合起来。
- 有限元结构和被分析的物体或区域很类似。
- 通过网格细分可以很容易地改善解的逼近度，这样在场梯度大的地方就会出现更多的单元，需要求解更多的方程。

通用有限元分析软件的使用包括以下步骤：

（1）前处理：输入描述几何、材料属性，载荷和边界条件的数据。软件能自动地划分大部分有限元网格，但必须提供相应的指导，如单元类型和单元疏密度。也就是说，分析者必须选择一个或多个单元列式以适应数学模型，并说明有限元模型所选区域的单元应有的大小。在进行下一步操作前，必须检查输入数据的正确性。

（2）数值分析：软件自动生成描述单元性能的矩阵，并把这些矩阵组合成表示有限元结构的大型矩阵方程，然后求解，并得到每个节点上的场量值。如果性能依赖于时间或者非线性问题，要另外进行具体的计算。

（3）后处理：有限元解和由它得到的数值被列出来或者用图显示出来。除了分析者需要告诉软件列出或显示那些变量外，通常是自动的。在应力分析中，典型的显示包括具有变形被放大的形状，或许还有动画，以及在不同平面上不同类型的应力。

2.2　Patran 建模和 Nastran 分析流程

2.2.1　Patran 2010 的用户界面介绍

Patran2010 具有良好的用户界面，清晰、简单、易于使用且方便记忆，如图 2-1 所示。

按照各部分的功能，可将 Patran2010 界面划分为 4 个区域，菜单和工具栏区、操作面板区、图形编辑区、信息显示和命令行输入区。

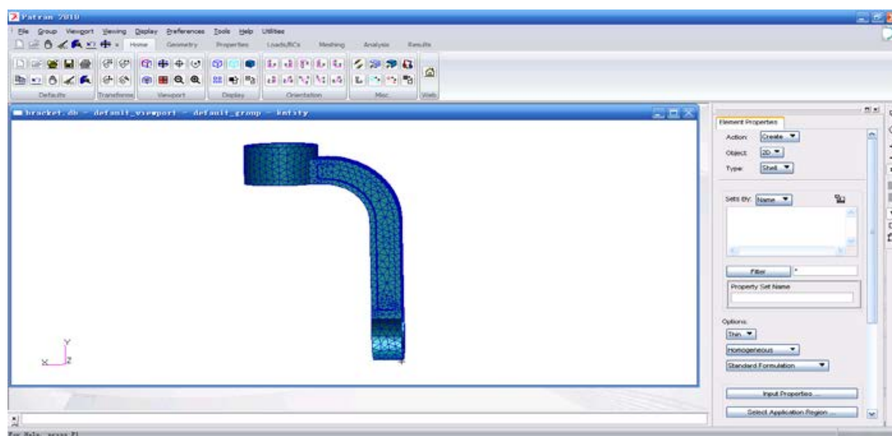


图 2-1　Patran 2010 用户界面

1．菜单和工具栏区

如图 2-2 所示，Patran 界面上的第一行是 Patran 的系统菜单，系统菜单的分类和作用简介如下：

- **File:** 文件的创建、打开、关闭、保存、另存；释放空间（Reclaim），通过备份文件回复 Patran 的 db 文件（Revert），通过 Patran 的日志文件回复数据库 db 文件（rebuild）；几何模型输入输出；文件回放和记录（session），窗口硬复制文件的生成，视窗图片输出，生成报告；退出 Patran。
- **Group:** 组的创建、显示、修改、移动/复制到组，设置当前组，由已存在的组的实体转化生成新的实体，组分层，删除组。
- **Viewport:** 视图窗口创建、显示、修改、删除、同时显示所有的视图。
- **Viewing:** 视图操作，即实现从不同角度和距离或者不同方式观看模型，如平移、缩放、转动、切割等。
- **Display:** 图形显示特征操作，即控制在视窗中显示哪些实体以及如何显示。
- **Preferences:** 环境设置，可对分析解算器、全局参数、显示、鼠标及其选择、报告格式、几何和有限元等进行设置。
- **Tools:** 工具选项，含列表、计算质量属性、梁截面定义、变量定义等多个模块。
- **Help**:在线帮助。
- **Utilities**:工具集。

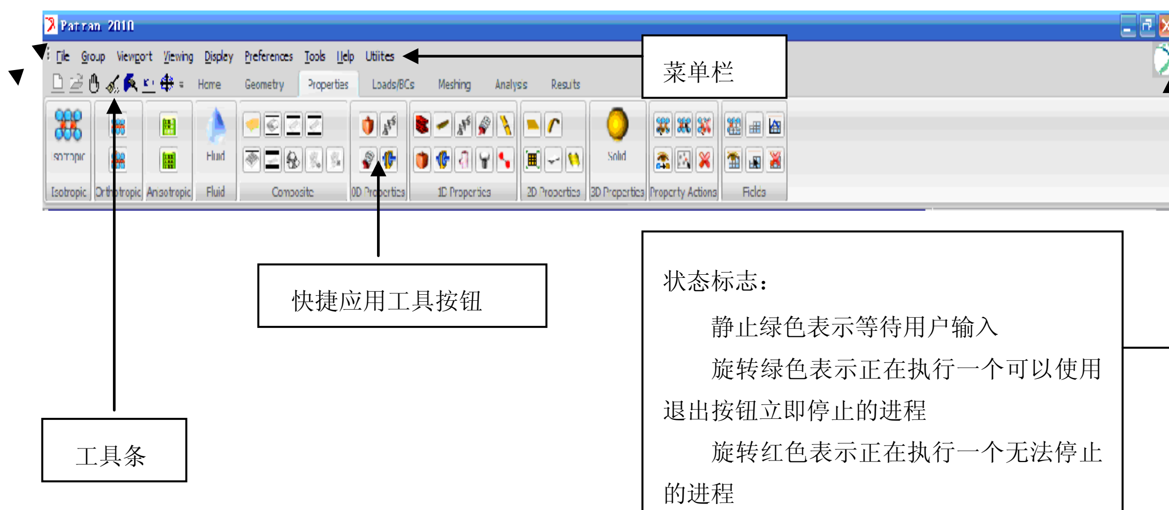


图 2-2　Patran 用户界面分类

单击 Patran 界面上工具条即可以找到 Patran 的快捷应用工具条，单击这些工具图标可以快捷方便地执行命令。其中 Home 工具条中的快捷应用工具条最为常用，其各应用工具图标的形状、名称以及功能如表 2-1 所示。

工具图标可以在 Patran 的安装目录\icons 子目录下，通过文件 p3toolbar.def 定义使其显示在 Patran 界面上。用户可以修改该文件设置自己的工具图标。用户也可以通过修改 p3midilog.pcl 文件创建新的功能图标。

2．操作面板区

表 2-1　工具图标介绍

图标	名称	对应菜单命令	功能介绍
	File New	File>New	建立一个新的 Patran 数据库文件
	File Open	File>Open	打开一个以前建立的 Patran 数据库文件
	File Save	File>save	保存
	Print	File>Print	打印
	Copy to Clip-board		复制图形界面内容到剪切板
	Undo		取消上一次存入数据库的操作
	Abort		中止当前正在进行的工作，Patran 运行状态指示图标为绿色时才能中止
	Reset graphics		显示设置复位
	Refresh graphics		刷新当前屏幕
	Mouse rotate XY	Preferences>Mouse…>Middle Mouse Button Map	按住鼠标中键，左右移动鼠标，模型绕屏幕平面竖直方向的轴旋转，上下移动鼠标，模型绕屏幕平面水平方向的轴旋转。一般移动鼠标，模型同时绕这两个轴旋转
	Mouse Rotate Z		按住鼠标中键移动鼠标，模型绕垂直于屏幕的轴旋转
	Mouse translate XY		按住鼠标中键移动鼠标，使模型在屏幕区域左右上下移动
	Mouse Zoom		按住鼠标中键，光标在图形界面上，实时放大缩小模型
	View corners	Viewing>Select Corners	局部窗选放大显示
	Fit View	Viewing>Fit View	模型适应视窗，使所有的实体都在当前视窗中显示
	View Center	Viewing>Select Center	以选中的点作为整个视窗的中心点显示模型
	Rotation Center		以选中的点作为模型旋转的中心点
	Model Center		把视窗中的模型中心点选作旋转中心点
	Tile Viewports		平铺视图
	Zoom out	Viewing>Zoom	缩小图形
	Zoom in		放大图形
	Wireframe	Display>EntityColor>Label>Render…	以线框形式显示实体，不做隐藏处理
	Hidden line		以线框形式显示实体，隐藏被遮挡的部分
	Smooth shaded		以光滑着色渲染的形式显示实体，看起来图形更逼真
	Element Shrink		单元视图离散化
	Cycle Back-ground		图形界面背景颜色黑白切换

（续）

图标	名称	对应菜单命令	功能介绍
	Cycle Show labels		隐藏/显示所有实体标号
	Front View		前视图
	Rear View		后视图
	Top View		俯视图
	Bottom View		仰视图
	Left Side View		左视图
	Right Side View		右视图
	Iso 1 ViewIso		视图 1
	Iso 2 ViewIso		视图 2
	Iso 3 ViewIso		视图 3
	Iso 4 ViewIso		视图 4
	Plot/Erase	Display>Plot>Erase	图形界面上几何图形、参考坐标系和有限元实体显示或者隐藏控制，擦去和隐藏后并没有在数据库文件中真实删除该对象
	Plot/Erase FEM		图形界面上几何图形实体显示或者隐藏控制，擦去和隐藏后并没有在数据库文件中真实删除该对象
	Plot/Erase Geometry		图形界面上有限元实体显示或者隐藏控制，擦去和隐藏后并没有在数据库文件中真实删除该对象
	Plot LBC Markers		图形界面上载荷/边界条件显示或者隐藏控制，擦去和隐藏后并没有在数据库文件中真实删除该对象
	Label Control	Display>EntityColor/Label/Render	在其提供的操作面板上定义实体标号显示
	Point size	Display>Geometry…>Point Size	以小点（1 个像素）或小圆圈（9 个像素）的形式显示几何点
	Node size	Display>Finite Elements…>Node Size	以小点（1 个像素）或小圆圈（9 个像素）的形式显示单元节点
	Display lines		在曲面内部按其参变量的方向画 0 或者 2 条剖面线，能够更形象显示实体。要显示更多条剖面线在 Display>Geometry…>Number of display lines 中定义
	MSCResource Services		连接到 MSC 公司的网页

由应用工具按钮和菜单项打开的各种面板都显示在 Patran 界面的右侧，这些面板被称为操作面板区。如图 2-3 所示为 Geometry 应用工具按钮打开的创建曲面的面板。一般面板上端有三项：Action、Object 和 Method（或者 Type），分别对应三个下拉式选项菜单。Action

中说明执行的动作，Object 中说明动作的对象，Method（或者 Type）中则说明动作执行采用的方式，三者结合再辅助其他选项或者数据输入即可完成一个具体操作。在操作面板上有一个按钮 ☑ Auto Execute ，前面方格有对号，表示选中，这时用鼠标选择填好 ☑ Auto Execute 下面的数据框后，系统会自动完成操作。如果 ☐ Auto Execute 前方是空白方格则没选中，或者即使选中，但是数据框信息是从键盘输入，则一般操作最后要单击 Apply 或者 OK 表示确认。随着 Preferences 定义的解算器和分析类型的不同，与 Action、Object 和 Method（或者 Type）相应的三个下拉式选择菜单的内容和操作面板设置可能不同。Patran 系统自动过滤掉与用户当前使用的解算器和分析类型无关的下拉菜单项。

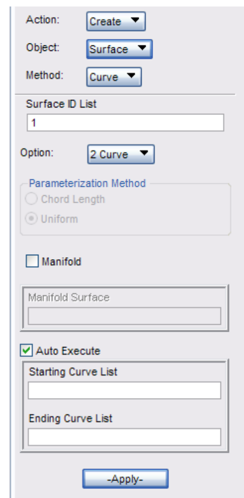


图 2-3 操作面板

Patran 创建的 Loads/BCs、Proper…、Load C…、Fields 等信息时通常要命名，因此要随时准备在操作面板区对某一创建和定义的对象命名。Patran 对象命名没有统一的标准，一般遵循如下规则：

a) 不接受中文名。

b) 不超过 31 个字符，空格算一个字符。

c) 一般采用大写英文字母 A～Z，小写英文字母 a～z，数字 0～9，适当选用下划线。

d) 区分大小写，如名称 Mater1 和 mater1 是两个不同的名称。

3．图形界面区

图形界面区如图 2-4 所示，其所占整个 Patran 界面的区域最大，主要用来显示有限元分析模型前后处理各阶段的图形：包括几何点、线、面、体及编号；单元节点、单元实体及编号；载荷和边界条件标记和数值；后处理生成的数据和云图等。其视窗属性和显示属性可单击系统菜单 Viewport 、Viewing 和 Display，通过其附属操作面板等来设置。

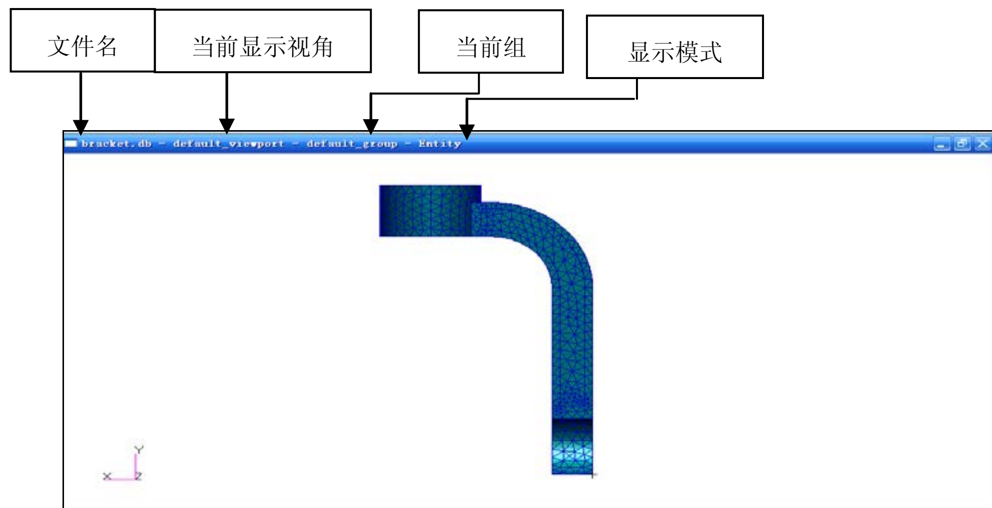


图 2-4 图形编辑区

4．信息显示和命令行输入区

参见图 2-5，在 Patran 中所有的操作行为都会显示在信息显示窗口，用户可以直接在命令行输入 PCL 命令来完成各种操作。

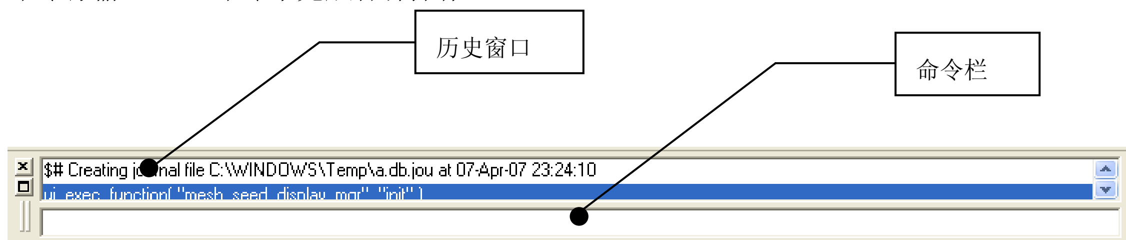
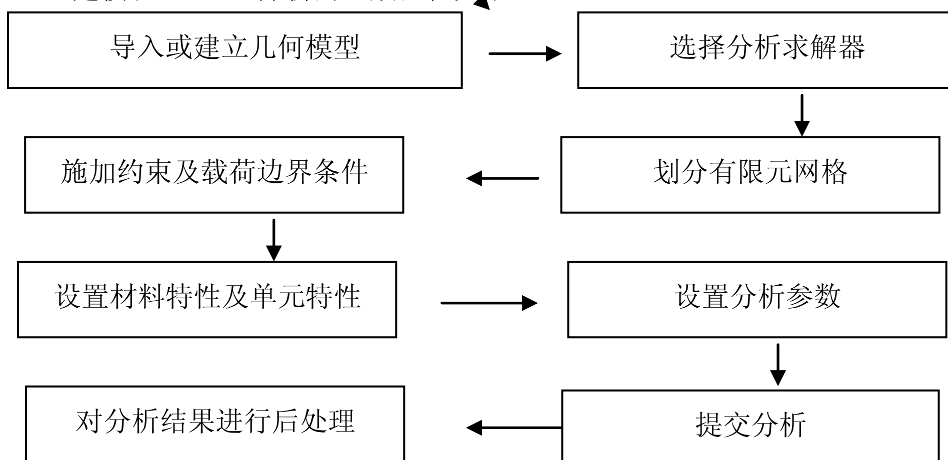


图 2-5　信息显示和命令行输入区

2.2.2　Patran 建模和 Nastran 分析的一般流程

Patran 建模和 Nastran 分析的一般流程如下：



1．导入或者建立几何模型

首先应该建立几何模型，或者从其他 CAD 软件中直接读入，再利用 Geometry 工具栏打开 Geometry 面板，用该面板中提供的功能，对读入的模型进行编辑修改。

2．选择分析求解器

不同的分析程序间，在材料的本构关系、单元类型、分析过程等方面都各自有特点。因此，在创建分析模型前，一定要选定所用的分析程序。在 Preferences 菜单中用 Analysis 菜单项打开 Analysis Preference 面板，从中选择适当的求解器。Patran 默认的求解器是 Nastran。

3．建立有限元模型

做完 1、2 步的工作，接下来就是在几何模型上建立有限元模型，建立有限元模型的过程包括划分网格、施加约束及载荷边界条件、设置材料特性及单元特性等，所用到的应用工具按钮如图 2-6 所示。

4．提交模型，分析就算

设置与计算相关的求解程序及参数，即可提交运算了，该操作对应的工具是 Analysis，运算完成后会产生相应的输出文件。

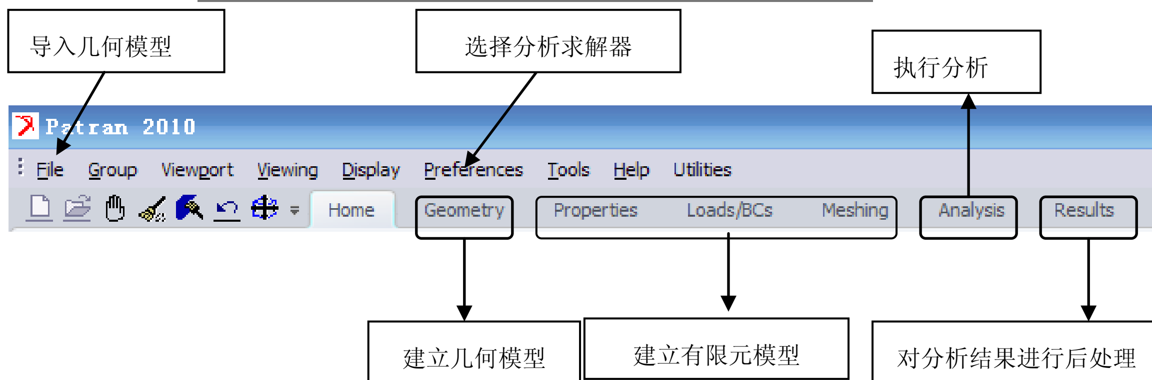


图 2-6　Patran 应用工具按钮简介

5．对结果进行后处理

读入结果文件，通过 Result 后处理工具对结果进行后处理，计算结果可以以图形、动画、曲线等多种形式显示出来。也可以清楚地看到应力应变分布、变形情况、变形过程等。

2.2.3　Patran 和 Nastran 的主要相关文件

在 Patran 和 Nastran 运行时会生成许多文件，包括 db, db.bkup, bdf, op2, xdb, f04, f06, patran.ses.**, jou，还有一些中间临时文件，在运行结束时会被自动删除，主要文件说明：

- db 文件是 Patran 的数据库文件，用于保存各种几何信息和有限元模型的信息，它是 Patran 中最基本的文件。db.bkup 文件是 db 文件的备份文件。
- bdf文件是由Patran生成、供Nastran读取的文件，其中保存着在Patran中所建立的有限元模型的所有信息，Nastran就是根据dbf文件来进行运算的。bdf文件可以用记事本等文本编辑器打开。
- op2文件和xdb文件是Nastran计算结果输出文件，由Patran来读取并进行后处理。Patran根据op2或xdb文件的内容以图形、动画等形式将结果显示出来。
- f04文件是系统信息统计文件，可以用文本编辑器打开，其记录了本次分析中的系统信息，比如占用系统内存、硬盘、CPU时间情况以及创建了哪些文件，每项工作的时间等情况。
- f06文件是分析运算过程记录文件，其中记录了许多非常有用的信息：有限元单元的各种信息，包括单元类型、节点坐标、载荷情况、约束情况；计算结果信息，包括最大应力、最大位移等；警告、出错信息，用户可以根据这些信息找出模型的错误，进行改正。如果f06文件出错，一般得不到op2文件或者xdb文件，如果得到opt2文件或者xdb文件，也不能顺利转化，即在后处理模块Result得不到信息。
- Patran.ses.**文件是对话文件，记录了本次从Patran打开到退出期间所有的对话过程，”**”表示两位数字，由系统自动赋予。
- jou文件是日志文件，记录了用户在数据库中的所有操作，利用日志文件，可以重建模型，即使原来创建的数据库文件丢失。

2.2.4　单位制介绍

在有限元分析之前，首先要选择一套封闭的单位制，否则无法确定计算结果的单位，也就失去了其应有的物理意义。如果在有限元计算前处理中所有的变量全部采用国际单位制，有限元分析计算后，进行后处理的变量也应该是国际单位制，如在几何和有限元建模时点（Point）和节点（Node）等几何量的长度单位用米（m），材料特征中质量单位用千克（kg），弹性模量单位用帕斯卡（Pa），载荷集中力单位用牛顿（N）等，则有限元分析分析求解后，经后处理得到的变量也对应国际单位，如位移的单位是米（m），应力的单位是帕斯卡（Pa）等。由于在工程结构中 CAD 建模采用的构件长度单位通常是毫米（mm），所以有限元分析通常也采用一套单位：毫米（mm）、吨（tone）、牛（N）、兆帕（MPa）等，它们也具有封闭性。表 2-2 提供了两套最常用的封闭单位制。

表 2-2　两套常见单位制

物理量	国际单位制	毫米制
长度（Length）	米（m）	毫米（mm）
时间（Time）	秒（s）	秒（s）
质量（Mass）	千克（kg）	吨（tone） 兆克（Mg）
力（Force）	千克·米/秒^2（kg· m/s^2） 牛（N）	吨·毫米/秒^2（tone·mm/s^2） 牛（N）
密度（Density）	千克/米^3（kg/m^3）	吨/毫米^3
应力（Stress）	千克/米/秒^2(kg/m/s^2) 牛/米^2（N/m^2） 帕（Pa）	吨/毫米/秒^2(tone/mm/s^2) 牛/毫米^2（N/mm^2） 兆帕（MPa）
能量（Energy）	千克·米^2/秒^2(kg·m^2/s^2) 牛·米(N·m) 焦（J）	吨·毫米^2/秒^2(tone·mm^2/s^2) 牛·毫米(N·mm) 毫焦（mJ）
温度（Temperature）	开（K）	摄氏度（℃）
比热容 （Specific-heat Capacity）	米^2/秒^2/开（m^2/s^2/K） 焦/千克/摄氏度(J/kg/℃)	毫米^2/秒^2/摄氏度(mm^2/s^2/℃)
热对流系数 （Heat Convection）	千克/秒^3/开(kg/s^3/K) 瓦/米^2/摄氏度(W/m^2/℃)	吨/秒^3/摄氏度(tone/s^3/℃) 牛/秒/开/毫米(N/s/K/mm)
热传导系数 （Thermal Conductivity）	千克·米/秒^3/开（kg·m/s^3/K） 瓦/米/摄氏度(W/m/℃)	吨·毫米/秒^3/摄氏度(tone·mm/s^3/℃) 牛/秒/开(N/s/K)
热膨胀系数 （Thermal Expansion）	米/米/开(m/m/K)	毫米/毫米/开(mm/mm/K)

Patran用户手册和参考算例中通常采用美制和英制单位，即长度单位用英寸（inch），质量单位用磅（lb），该单位制也是封闭的。

2.3　实例入门——支撑结构受力变形分析

为了使读者对于使用 Patran 和 Nastran 进行工程计算有一个初步的了解，下面做一个工程分析的例子，这个例子包括整个分析的几个步骤，从输入几何模型、建立有限元模型、定义有限元单元的属性、定义边界条件、定义材料、提交分析、结果后处理等。通过这一个例子，使读者可以基本掌握 Patran 和 Nastran 的使用方法。

该例子是一个支撑结构，如图 2-7 所示。通过计算检查一下该结构的设计是否可以承受相应的冲击载荷力，该结构下端部分圆孔固支，上部圆面内受到向下的载荷为 7080 lbf，材料的弹性模量 E＝30×10^{6}psi，泊松比 μ＝0.3。



图 2-7　支撑结构算例

2.3.1　前处理

1．新建一数据库文件

如图 2-8 所示，选择菜单 File>New 命令，在文件名输入 bracket，单击 Apply 按钮。然后单击 Preferences 菜单，打开 Analysis Preference 面板，设置 Analysis Code > Nastran Analysis Type >Structure，单击 OK 按钮。



图 2-8　新建数据文件

2．创建几何模型

打开菜单 File>Import 命令，如图 2-9 所示，设置 Object>Model，Source>Parasolid xmt，在浏览文件目录选项中，选择 bracket.xmt，点击 Apply 按钮导入几何模型。

3．划分有限元网格

单击 Meshing 应用按钮，进入有限元网格划分面板。单击快捷工具栏 Meshers 中 图

标设置 Action>Create，Object>Mesh，Type>Solid，Elem Shape>Tet，Mesher>Tetmesh，Topology>Tet 10，在 Input list 选项中选择图中所示实体，在尺寸控制选项中，勾掉 Automatic Calculation，输入 0.5 作为单元的长度，单击 Apply，生成 10 节点四面体有限元网格，如图 2-10 所示。

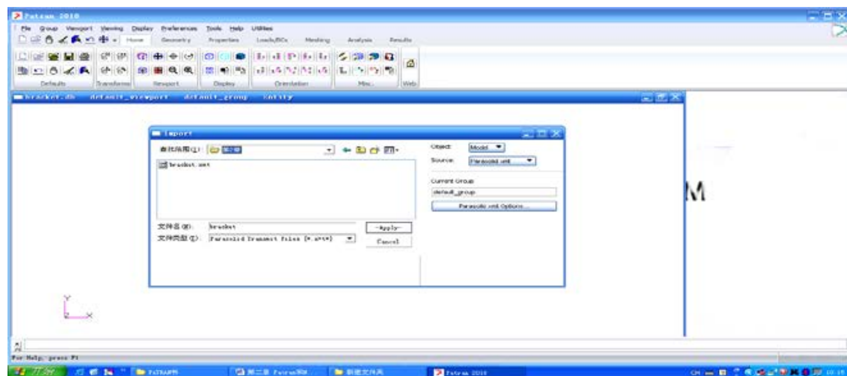


图 2-9　导入文件面板

4．施加边界条件

（1）施加约束。单击 Loads/BCs 应用按钮，单击快捷工具栏 Nodal 中按钮，设置 Action>Create，Object>Displacement，Type>Nodal，施加约束：在 New Set Name 选项中，输入约束名称为 SPC，单击 Input Data 按钮，约束三个方向的平动自由度 Translations<T1 T2 T3>设置为<0 0 0>，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region 按钮，Select>Geometry，点击右侧曲面标准，然后通过 Select Geometry Entities 选项，在屏幕上选择下部的内孔 Solid 1.14，单击 Add 按钮，点击 OK 按钮，单击 Apply 按钮，这样就可以在底部内孔施加固定约束，如图 2-11 所示。

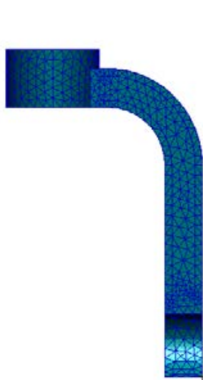


图 2-10　有限元模型

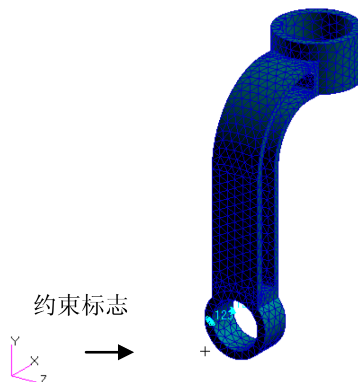


图 2-11　施加约束的有限元模型

（2）施加载荷。在 Loads/BCs 应用菜单选项中，单击快捷工具栏 Element Uniform 中按钮，设置 Action>Create，Object>Total Load，Type>Element Uniform，New Set Name 选项中输入 load，Target Element Type>3D，打开 Input data 选项，在 load<F1 F2 F3>选项中输入载荷<0 -7080 0>，单击 OK 按钮。打开 Select Application Region 按钮，在 Select Solid Faces 选项中，选择顶部圆孔的底面，单击 Add、OK、Apply，完成在上端圆孔底面施加

了—Y 方向的大小为 7080 lbf 的载荷，如图 2-12 所示。

5．设置材料特性及定义单元属性

简单的说，创建一个材料模型时，需要先输入一个材料名称，再输入其属性，比如弹性模量、泊松比、密度等，定义材料时并不是所有的属性都要求输入，而是要根据具体的分析程序和分析类型。在静态分析中，材料的密度不用输入。单击 Properties 按钮，进入单元属性面板，Properties 部分的功能就是根据实际结构和分析程序创建物理特性并将其应用于对应的有限元单元。类似边界条件的定义，每创建一个 Property 都要取一个 Set 名称，该 Set 名称是该物理特性的唯一标识，对每个物理特性的操作也都通过对其 Set 名称的操作来实现。Patran 中单元物理特性的定义，实际上就是确定单元类型、单元材料、截面几何特性等，所以单元的物理特性与求解器的直接相关，不同的求解器支持不同的单元类型，定义的方法和定义的过程也有所不同。在本例中进行如下设置：首先设置材料特性，单击快捷工具栏 Isotropic 按钮，设置 Action>Create，Object>Isotropic，Method >Manual Input，Material Name 选项中输入 Alum，点击 Input Properties 按钮，打开 Input Option 面板，设置 Constitutive Model>Linear Elastic，在弹性模量（Elastic Modulus）选项中设置弹性模量为 30e6，泊松比（Poisson Ratio）选项中设置为 0.3，点击 OK、Apply 按钮，完成各项同性材料的创建，如图 2-13 所示。

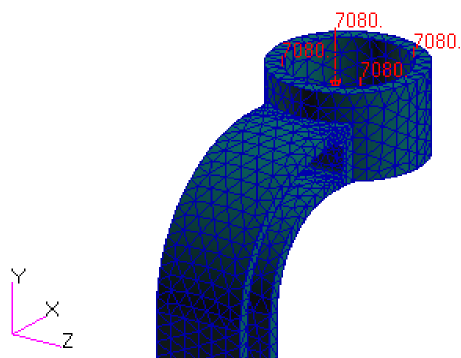


图 2-12　施加载荷的有限元模型

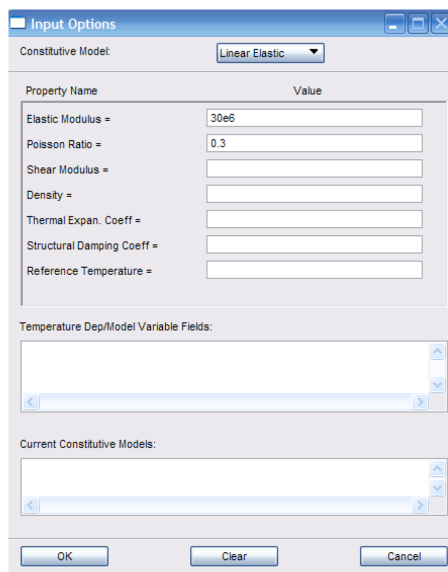


图 2-13　定义材料特性

材料设置完成以后进行单元属性的定义，单击快捷工具栏按钮，在 Property Set Name 选项中输入 bracket，Options>Standard Formulation。单击 Input Properties 按钮，打开 Input Properties 面板，单击 Mat Prop Name 右侧的按钮打开 Select Material 面板，选择已经定义的材料模型，如图 2-14 所示。在 Select Members 选项中选择图形区的三维实体 Solid1，单击 Add 按钮，Solid1 添加到 Application Region 栏中，单击 Apply，完成单元属性的定义，这样就将材料的性能和三维实体单元关联起来。

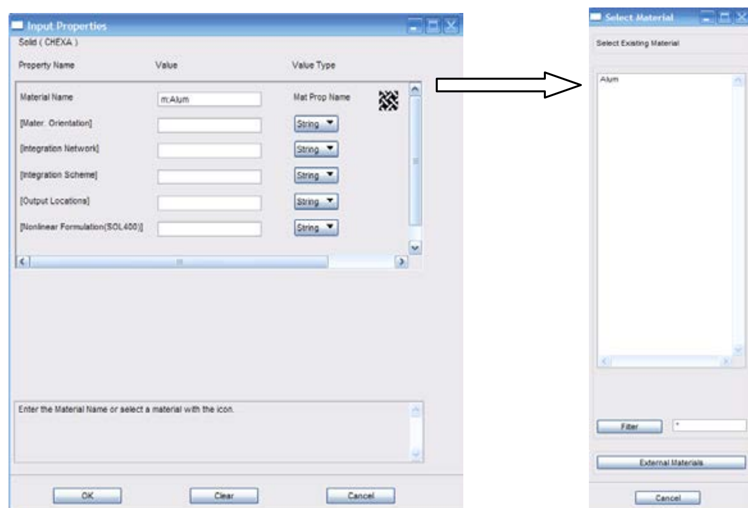


图 2-14　定义单元属性面板

2.3.2　提交分析

单击 Analysis 应用工具按钮，设置分析参数。单击快捷工具栏按钮，设置 Action>Analyze，Object>Entire Model，Method>Full Run，Job Name 是默认的，为开始建立的文件名 bracket。单击 Solution Type 按钮，根据工况不同一个模型可进行多个不同的分析，在默认情况下是单工况，线性静态分析。Solution type > LINEAR STATIC，如图 2-15 所示，单击 OK 按钮，单击 Apply 按钮，Patran 将模型提交 Nastran 运算，同时弹出一个 DOS 窗口，显示 Nastran 的运行情况。

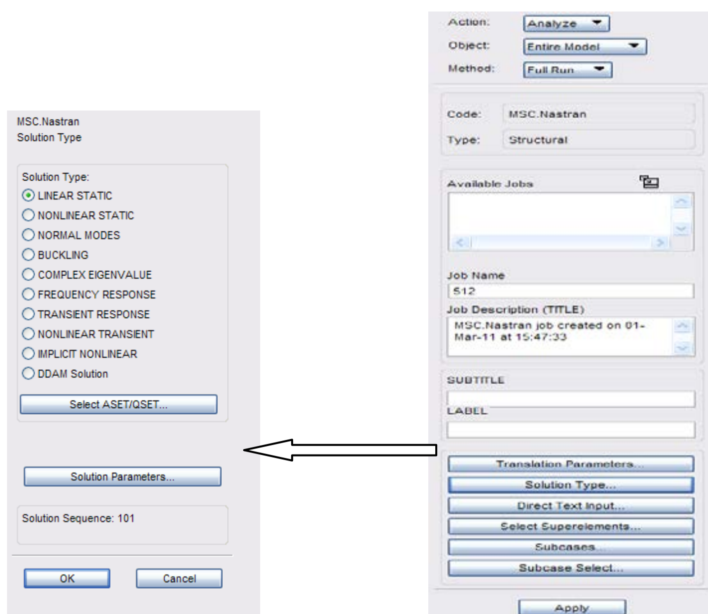


图 2-15　设置分析参数

当一项分析正确完成后，Nastran 会输出.op2 和.XDB 文件作为 Patran 的输入，其包含了所有分析结果信息，在 Action 中选择 Read Output2 或 Attach XDB 将分析结果读入或是将结果数据与 Patran 相关联，之后就可以将结果以云图、曲线等多种形式显示出来。

2.3.3 后处理

1．读入计算结果

点击 Analysis 应用工具按钮，单击快捷工具栏按钮，设置 Action>Access Results，Object>Attach XDB，Method >Result Entities。单击 Select Results File 按钮，文件名 bracket.xdb，单击 OK 按钮，单击 Apply 按钮。将 Nastran 的分析结果读入到 Patran。.

2．显示位移云图

点击 Results 应用工具按钮，单击快捷工具栏按钮，设置 Action>Create，Object>Quick Plot，Select Fringe Result> Displacements Translational，Select Deformation Result>Displacement Translational，单击 Apply 按钮，显示支架位移云图，如图 2-16 所示。

3．显示应力云图

点击 Results 应用工具按钮，单击快捷工具栏按钮，设置 Action>Create，Object>Quick plot，Select Fringe Result>Stress Tensor，Quantity>von Mises，Select Deformation Result>Displacement Translational，单击 Apply 按钮，显示支架的应力云图，如图 2-17 所示。

4．生成报告文件

点击 Results 应用工具按钮，单击快捷工具栏按钮，设置 Select Result Cases>Default Static Subcase，Select Fringe Result> Stress Tensor，Quantity >Von Mises，然后单击 Target Entities 按钮，选择要输出的目标，单击 Apply 按钮，在工作目录下生成报告文件 patran.prt。

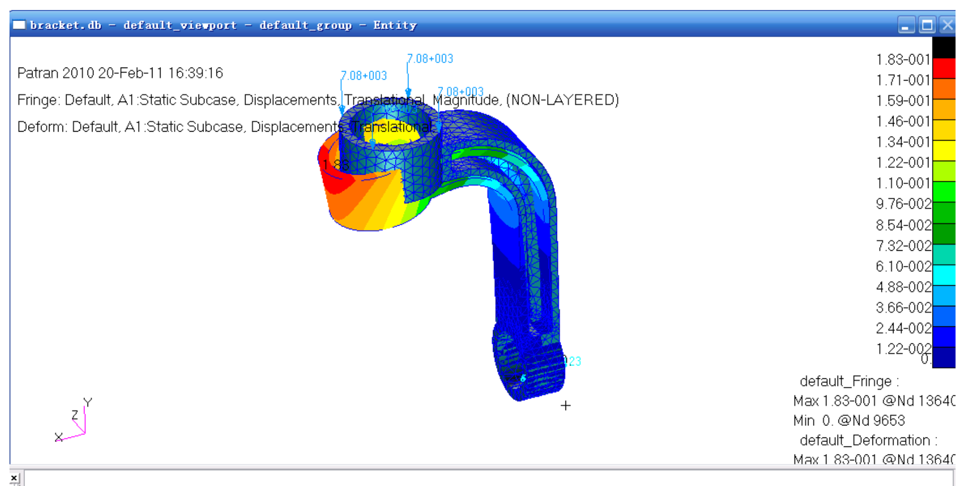


图 2-16 位移云图

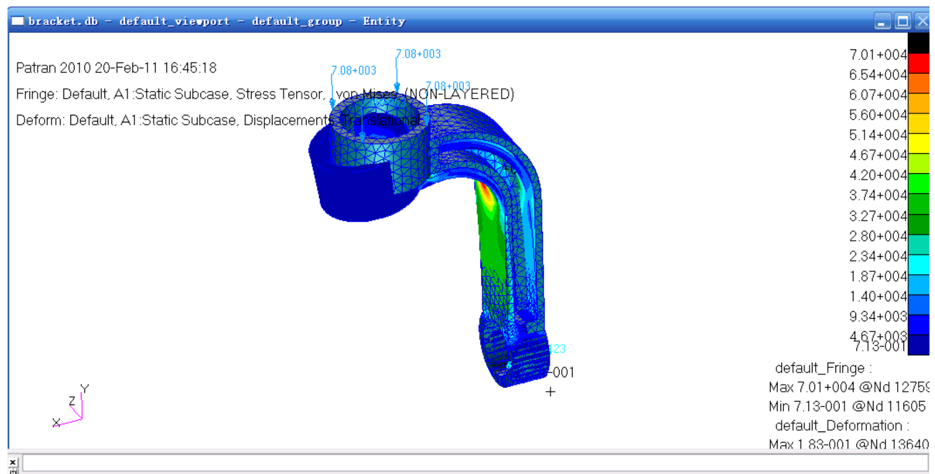

bracket.db - default_viewport - default_group - Entity
Patran 2010 20-Feb-11 16:45:18
Fringe: Default, A1:Static Subcase, Stress Tensor, , von Mises, (NON-LAYERED)
Deform: Default, A1:Static Subcase, Displacements, Translational,
7.01+004
6.54+004
6.07+004
5.60+004
5.14+004
4.67+004
4.20+004
3.74+004
3.27+004
2.80+004
2.34+004
1.87+004
1.40+004
9.34+003
4.67+003
7.13-001
default_Fringe :
Max 7.01+004 @Nd 12759
Min 7.13-001 @Nd 11605
default_Deformation :
Max 1.83-001 @Nd 13640

图 2-17　应力云图

第 3 章　创建几何模型

内容导航



创建几何模型是进行有限元分析的基础，Patran 具有友好的用户界面，提供了一系列几何建模功能，包括几何元素的创建（Create）、删除（Delete）、编辑（Edit）、显示（Show）、变换（Transform）、检查（Verify）、关联（Associate）、取消关联（Disassociate）、重新标号（Renumber），可以快速方便地对几何实体进行多种操作，同时 Patran 能和其他 CAD 软件良好地兼容，可以保证用户从一个或多个 CAD 系统中获取 CAD 信息。通过本章的学习，读者可以掌握使用 Patran 直接创建几何模型、转化创建几何模型、编辑修改几何模型等多种操作。

重点剖析

* 直接创建几何模型
* 转化创建几何模型
* 输入输出几何模型
* 编辑检查几何模型

3.1　直接创建几何模型

几何模型对于 Patran 来说是非常重要的，建立良好几何模型的目的就是为了给建立有限元模型提供方便，只有良好的几何模型才能使建立有限元模型的过程顺利进行（便于有限元网格的划分、材料和物理特性的定义和边界条件的施加）。在 Patran 的界面上，单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，打开创建几何模型的快捷工具按钮和操作面板区，利用快捷工具按钮和操作面板区命令，可以创建各种几何元素，建立几何模型，可以对几何模型进行各种编辑修改，以满足建立有限元模型的要求。Patran 中的几何元素包括点（Point）、曲线（Curve）、曲面（Surface）、实体（Solid）、坐标系（Coord）、平面（Plane）、矢量（Vector）。

3.1.1　创建点

几何点是 Patran 中最基本的几何元素，在 Patran 中单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，然

后单击按钮创建点（在打开的面板上设置 Action>Create,Object>Point），创建点的方法有 8 种，如图 3-1 所示，下面一一介绍：

• XYZ 方法：根据输入点的三个坐标值来建立点。如图 3-2 所示，操作面板区 Point Coordinate List 中输入坐标值，来创建点的坐标。

每创建一个点，Patran 都会给创建的点赋予一个标号，同时在 Point ID List 中显示下一个将要创建的点的标号，创建其他几何体也是一样。用户也可以自己修改几何体的标号。

• ArcCenter 方法：在已有圆弧的圆心处建立点。如图 3-3 所示，在 Curve List 中选中相应的圆弧，单击 Apply，在圆弧圆心处生成点。

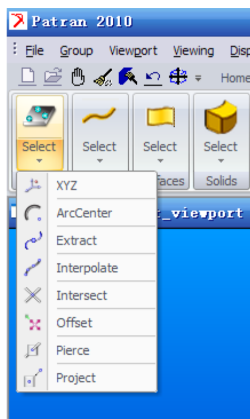


图 3-1 创建点的快捷工具按钮

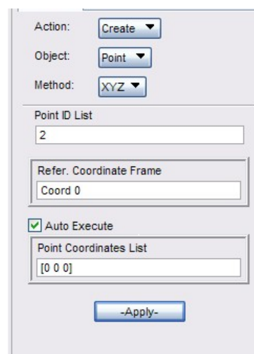
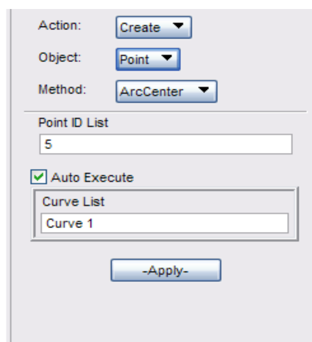


图 3-2 输入坐标值创建点



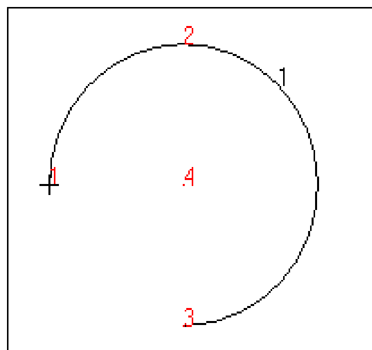


图 3-3 在圆弧圆心创建点

• Extract 方法：在曲线或者曲面上生成点。根据曲线和曲面的局部坐标系“u 或者 v Parametric Position”的位置来生成点（u，v 的值在 0，1 之间变化）。图 3-4 所示为在曲线上生成点，u 值为 0.6，对应点为 Point 4。图 3-5 所示为在曲面上生成点，u 和 v 取值均为 0.5 时对应的点为 Point 1，u 和 v 分别取 0.8 和 0.5 时对应的点为 Point 2。在曲面可以生成一组点，有两种生成点的方式，分别为 Diagonal Points 和 Parametric。选择 Parametric 选项，单击 Parametric Bounds 按钮，打开 u，v 参数设置面板，在 Surface List 中选择曲面，即可在曲面上生成一组点，图 3-6 示出了使用 Parametric 法的操作过程，图 3-7 示出了使用该法生成一组点的示例。

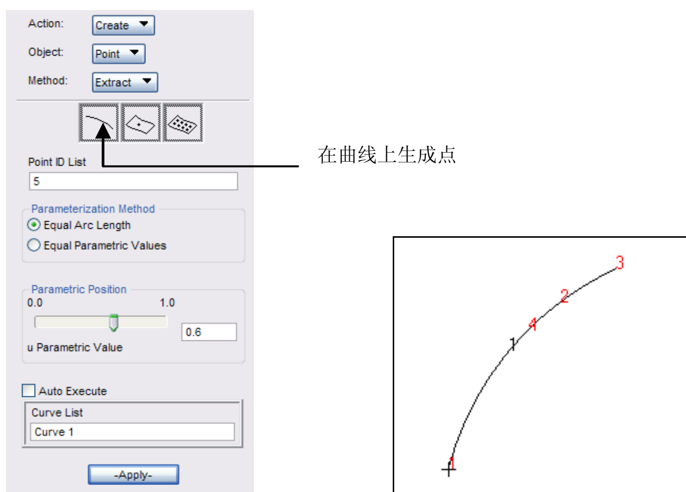


图 3-4　在曲线或者曲面上生成点

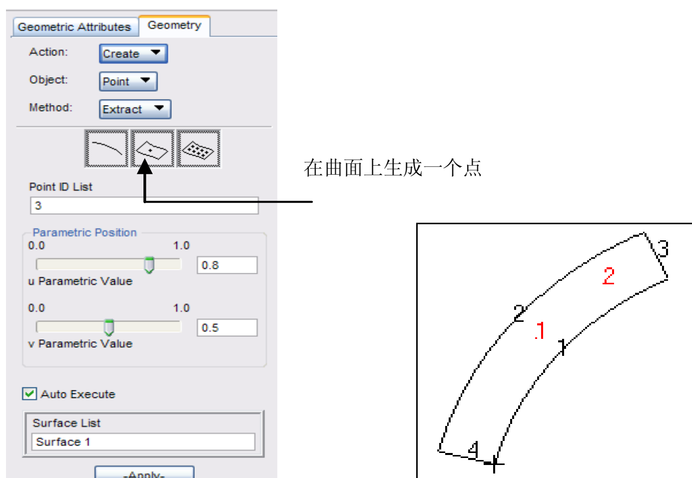


图 3-5　在曲面上生成点

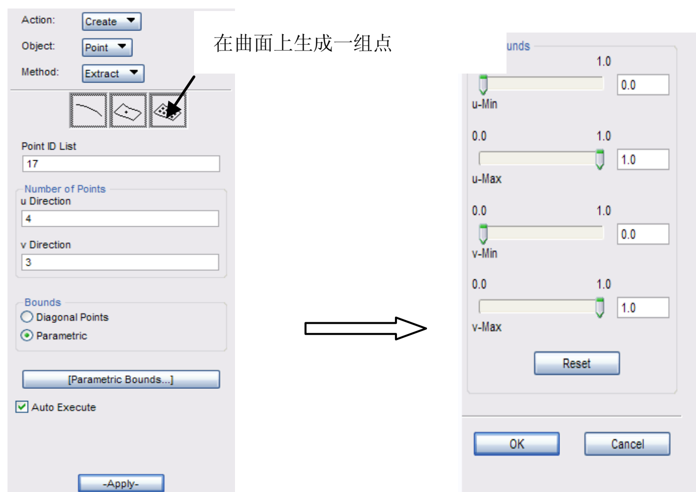


图 3-6　在曲面上生成点的操作过程

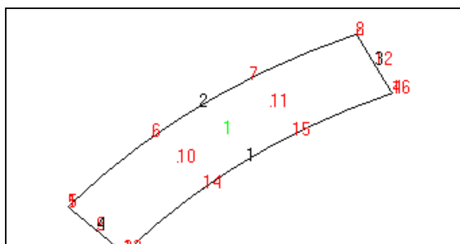


图 3-7　在曲面生成点的示例

• Interpolate 方法：在已有两点之间或者已有曲线上，同时创建多个点。图 3-8 所示，由 Option 所对应的下拉菜单的 Point 或者 Curve 来确定。同时生成的点也有等矩或者不等矩两种，由 Point Spacing Method 项来控制。要生成的点的数量由用户在 Number of interior Points 中输入，默认为 1，图 3-8 对应的是在 Point 1 和 Point 2 之间生成的不等矩的 3 个点。

• Intersect 方法：1）在两个元素的交点上创建点，如图 3-9 所示，在 Option 中选择相应的元素，两种元素的组合有：曲线/曲线、曲线/曲面、曲线/平面、矢量/曲线、矢量/曲面、矢量/平面、矢量/矢量，在系统公差范围内，这两个元素之间应该是相交的，如果不相交，Patran 会在两个元素上分别创建一个点，这两个点之间的连线是这两个元素上所有点之间的最短连线，这两个元素通过两个 Option 选项来确定，这种不相交情况有时会有很大的用途。2）在三个平面的交点处创建一个点。图 3-9 右图示出的是在曲线和曲面的交点创建点。

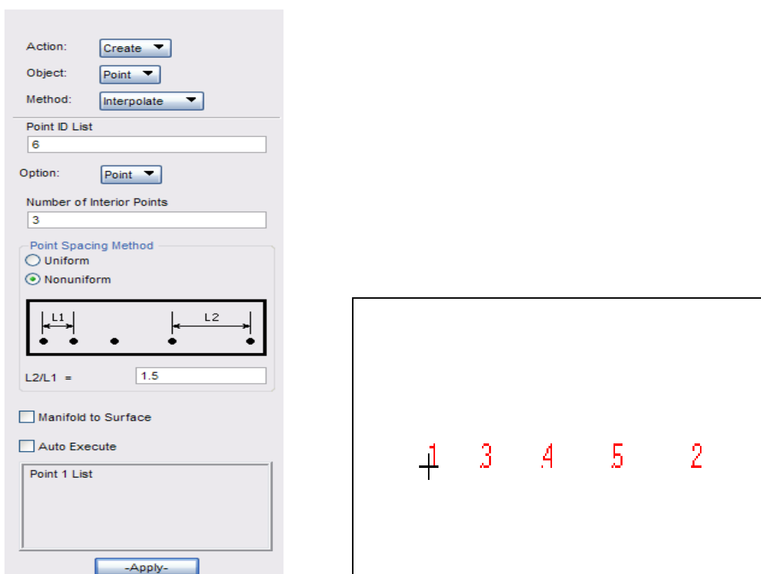


图 3-8　在两点之间或者曲面上创建点

• Offset 方法：该方法是在已有曲线上通过指定偏移量的方法创建点。如图 3-10 所示，在给定直线上选择一个点作为参考点，在 Offset Distance 选项中指定一个距离作为

偏移量，在 Curve/Point List 中同时选中曲线，给定的偏移量必须小于等于曲线本身的长度，否则，系统提示应给偏移量的范围，如图 3-11 所示。

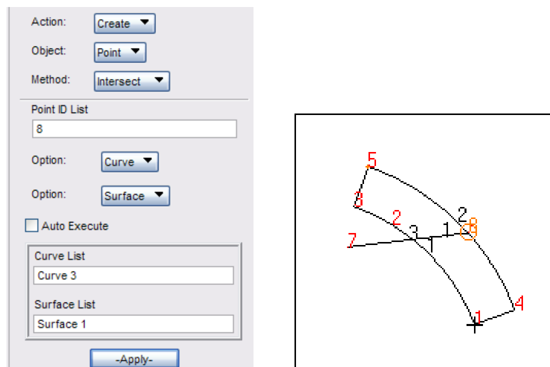


图 3-9　在元素交点处创建点

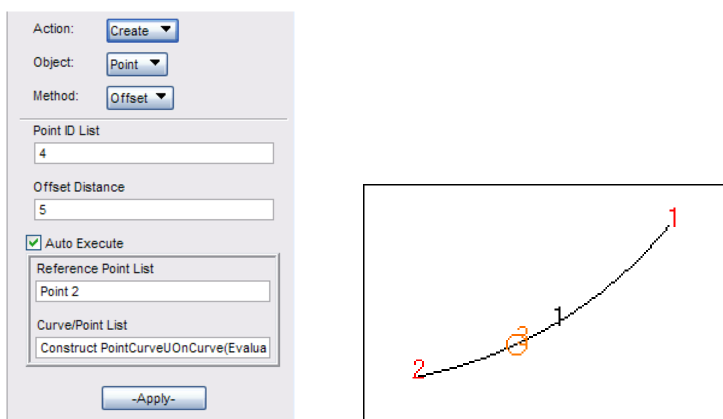


图 3-10　通过偏移量创建点

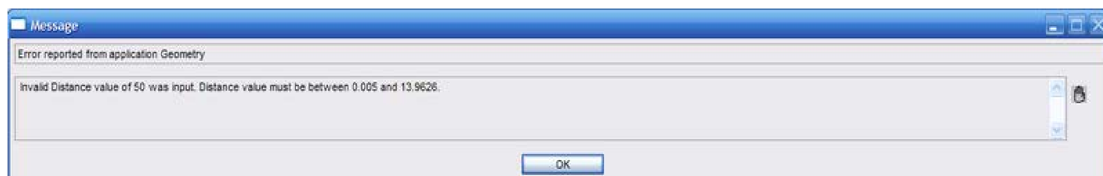


图 3-11　在给定直线上选择一个点作为参考点

- Pierce 方法：在一条曲线与一个曲面的交点处创建点。如图 3-12 所示，在 Curve List 中选择曲线，在 Surface List 中选择曲面。需要说明的是，这里的曲线既可以是独立的曲线，也可以是曲面，实体的边，曲面可以是独立的曲面，也可以是某个实体的面。曲线和曲面必须完全相交，如果两者的交点不止一个，则 Patran 会在每一个相交处创建一个点。
- Project 方法：通过投影法来创建点，如图 3-13 所示，该方法可以将一组已有的点，按照给定的方向投影到曲线、曲面、实体表面上而创建新的点。投影的方向在

Direction 里边定义，可以垂直于投影目标，也可以自己定义向量，或者垂直于视野平面。至于原来的点，可以通过 Delete Original Points 选项选择是否保留，图 3-13 分别为点沿着曲线的法向方向和曲面的法线方向投影创建新的点。

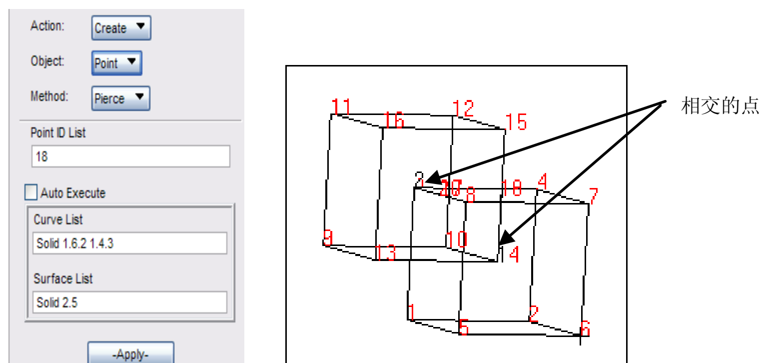


图 3-12　在曲线曲面的交点创建点

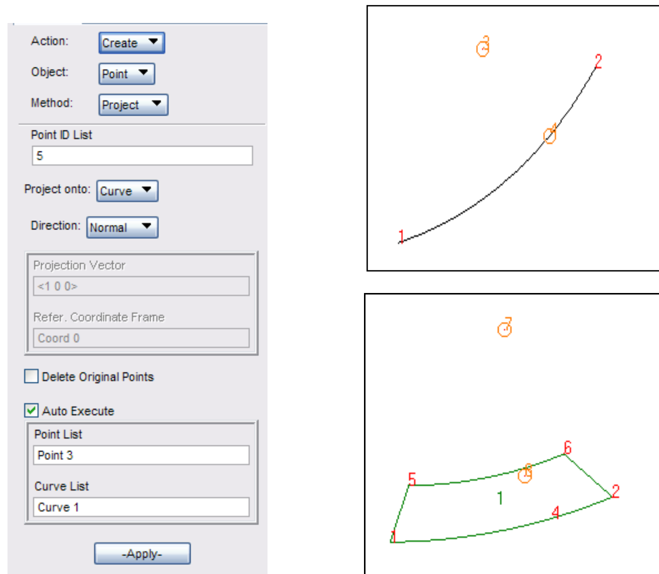


图 3-13　投影法创建点

3.1.2　创建曲线

Patran 中创建的曲线端部含两个几何点，可用一个局部坐标变量来描述，在 Patran 中单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，再单击按钮（Action>Create，Object>Curve）创建曲线，创建曲线的方法有很多种，如图 **3-14** 所示，下面一一介绍。

- Point 方法： 由点来创建曲线。需要说明的是点可以是已有的点，也可以是顶点、节点、或者其他点。如图 3-15 所示，在 Option 选项中可以创建曲线的点的个数，如果选择两点则在两点间建立一条直线，如果选择 3Point 或者 4Point，中间点在曲线上的位置

可以通过参数 u 来调节，也可以根据弦长来确定。如果选择 4Point，则过 4 个点建立一条曲线，而曲线中间两个点的位置则通过 Parametric Positions 按钮打开的面板来确定。

• Arc3Point 方法：用三点创建一圆弧。如图 3-16 所示，如果选中 Create Center Point，则在该圆弧的圆心处创建一个点。如果在 **Preferences**>Geometry…面板中选中 Exportable to Neutral File，则在三点创建圆弧操作面板中出现数据框 Curve per Arc，默认值为 1，输入 n 则把圆弧等分为 n 份。

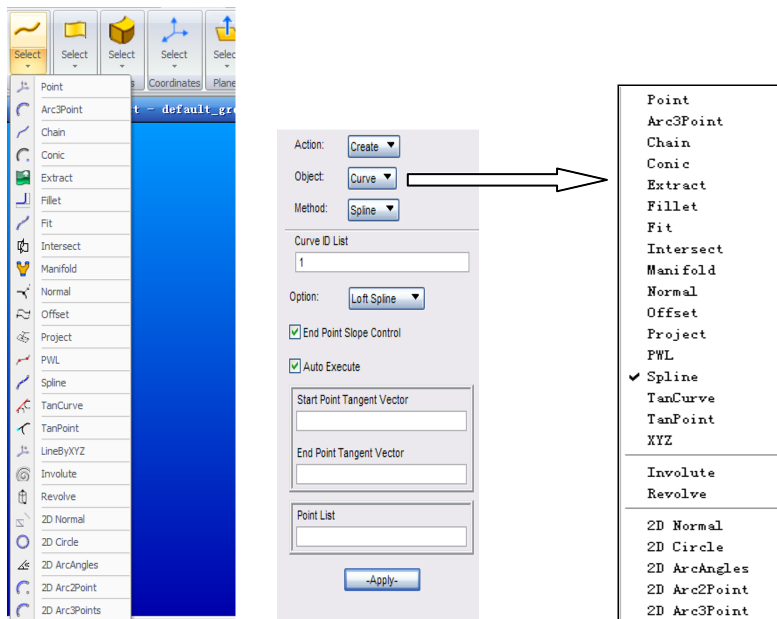


图 3-14　创建曲线的快捷工具按钮面板和操作面板区

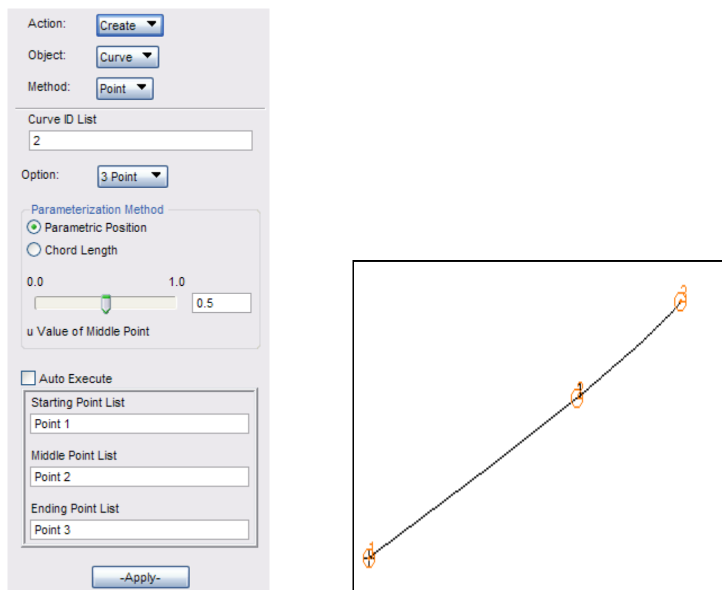


图 3-15　由点来创建曲线

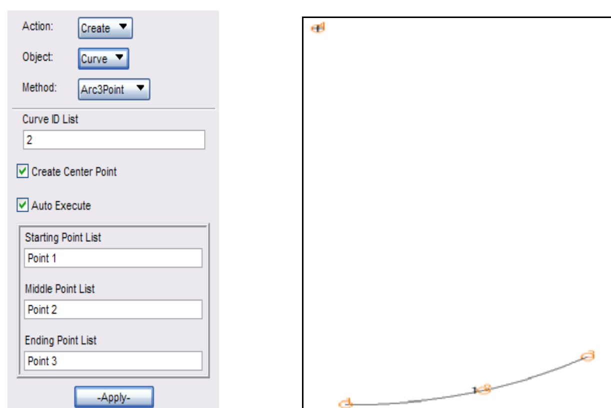


图 3-16　由三点创建一圆弧

• Chain 方法：将已有的曲线、边连接起来，构成一条复合曲线。需要说明的是，这些已有曲线应该首尾相连。复合曲线用于创建平面（plane）或裁剪曲线。

• Conic 方法：建立圆锥二次曲线，包括双曲线、抛物线、椭圆、圆弧等，通过制定焦点、起点和终点来控制曲线的生成，如图 3-17 所示，需要说明的是这些点可以是独立的几何点，也可以是顶点、节点或者其他点。

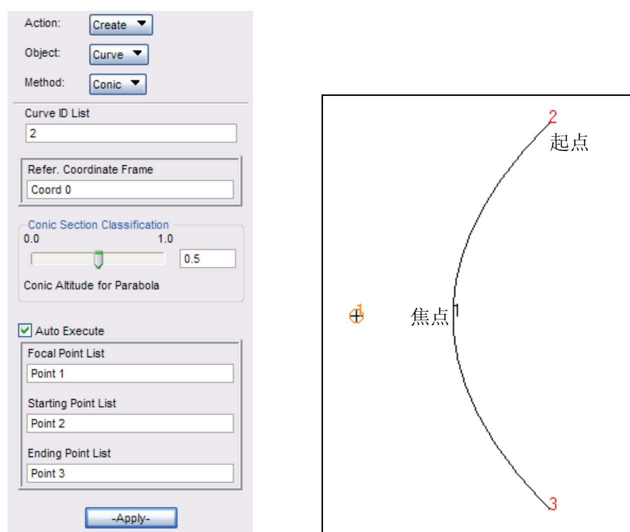


图 3-17　创建圆锥曲线

• Extract 方法：在已有的曲面或者实体表面创建曲线，如图 3-18 所示，Option 选项中 Parametric 表示通过指定曲面上的 u 或者 v 方向的参数值来控制所生成的曲线在曲面上的方向和位置。一般适合较规则的曲面。Edge 则表示直接将曲面的边转化成直线。

• Fillet 方法：　在已有的两条曲线之间生成一圆弧，将这两条曲线连起来，同时可以通过 Trim Original Curves 选项选择，是否裁减原有的曲线，从而构成复杂的光滑连接曲线，如图 3-19 所示。

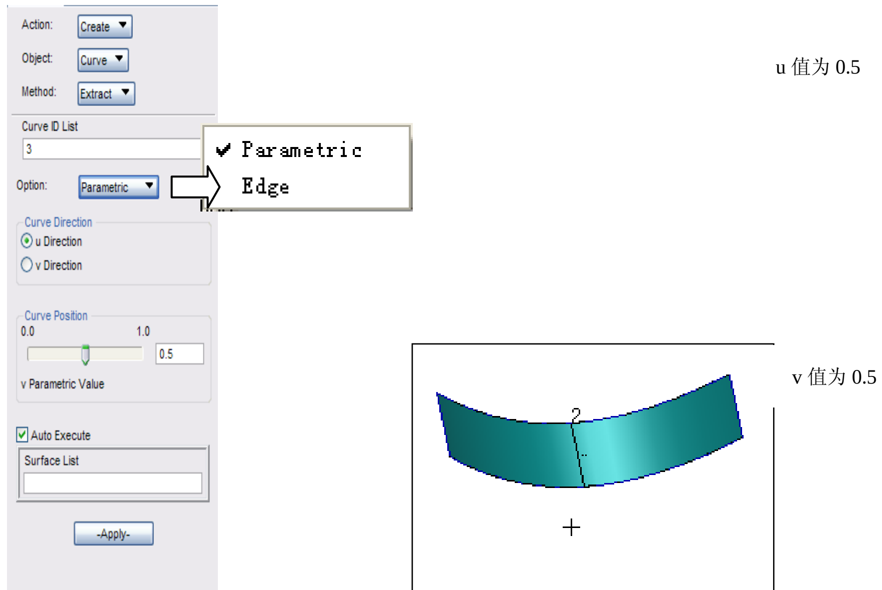


图 3-18 在已有曲面上创建曲线

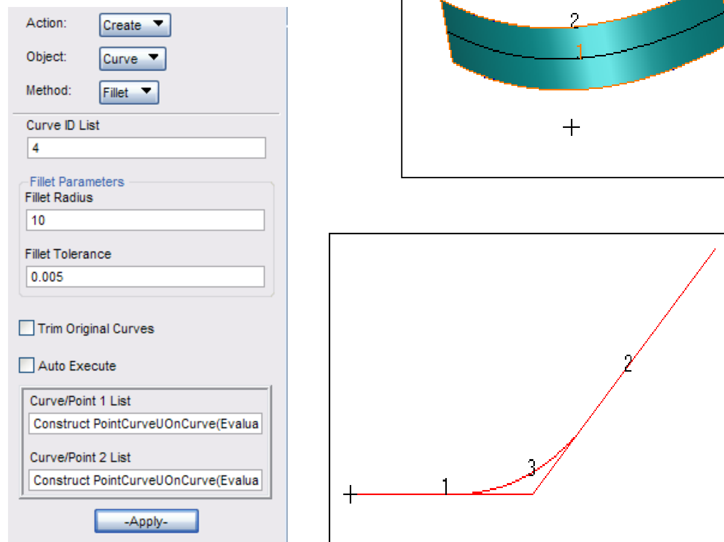


图 3-19 在两条曲线间创建一圆弧

- Fit 方法： 由一组点根据最小二乘法生成一条拟和曲线，如图 3-20 所示。
- Intersect 方法： 由 2 Surface、Surface—Plane 或者 2 Plane 相交生成曲线。
- Manifold 方法： 根据曲面上的点直接在曲面上生成曲线，如图 3-21 所示，Option 选项中可以选择 2 Point 或者 N—Points 两种方法来完成，也就是由两个点生成曲线还是由多个点生成曲线。需要说明的是，这里的曲面可以是单独的曲面也可以是实体的表面。
- Normal 方法： 过一点生成一垂直于某曲线的直线。
- Offset 方法： 通过类似平移的方法生成曲线，如图 3-22 所示，平移的形式有两

种，分别是 Constant Offset 和 Variable Offset。同时可以设置偏移量的大小和重复偏移次数，点击 Draw Direction Vector 按钮可以在已知的曲线上显示偏移方向，单击 Reverse Direction 可以将偏移方向反向。

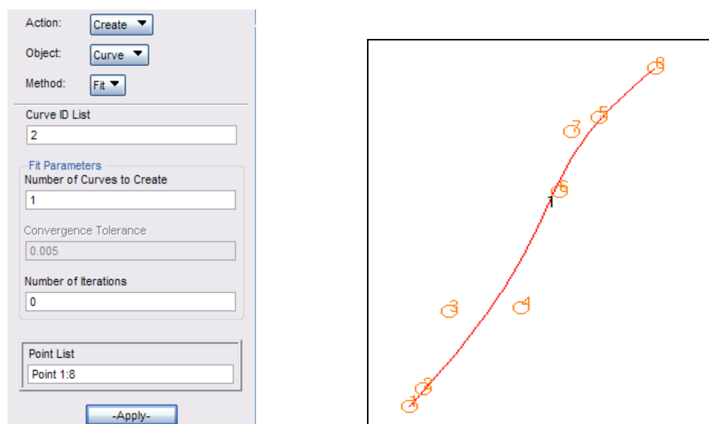


图 3-20　按最小二乘法拟和曲线

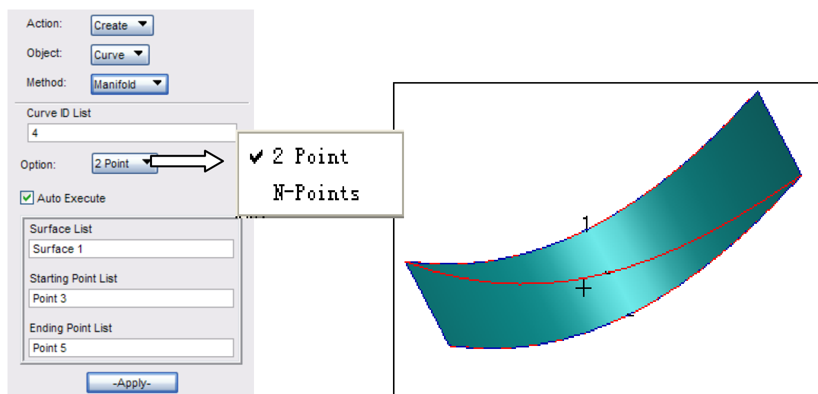


图 3-21　根据曲面上的点生成曲线

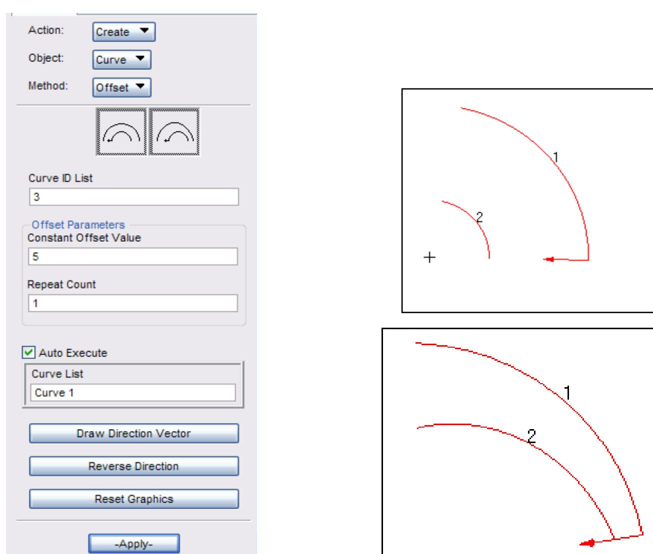


图 3-22　通过偏移生成曲线

• Project 方法： 通过投影来创建曲线，也就是通过将曲线沿指定的方向向平面或者曲面投影而生成曲线。如图 3-23 所示，投影的方向可以垂直于投影面，也可以自己定义矢量方向，或者沿视野矢量方向。

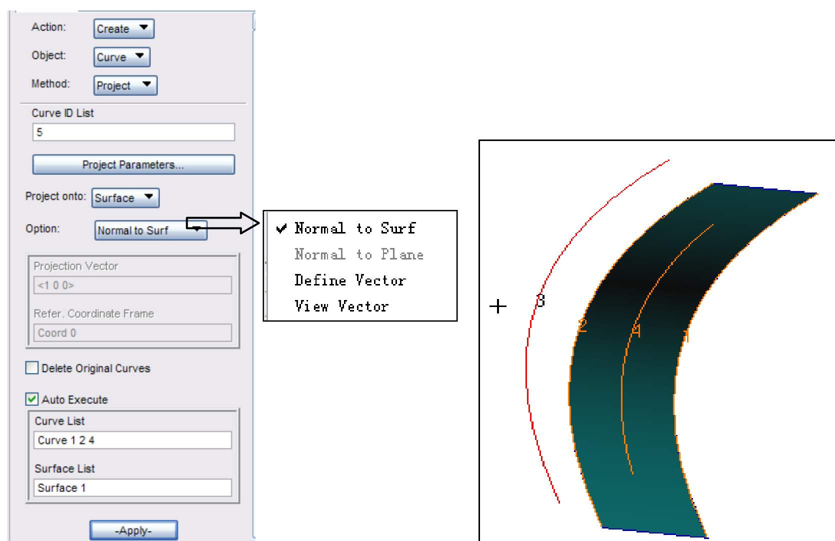


图 3-23 通过投影生成曲线

• PWL 方法： 选择多个点，Patran 会在这些点之间依次绘出多条直线，如图 3-24 所示。

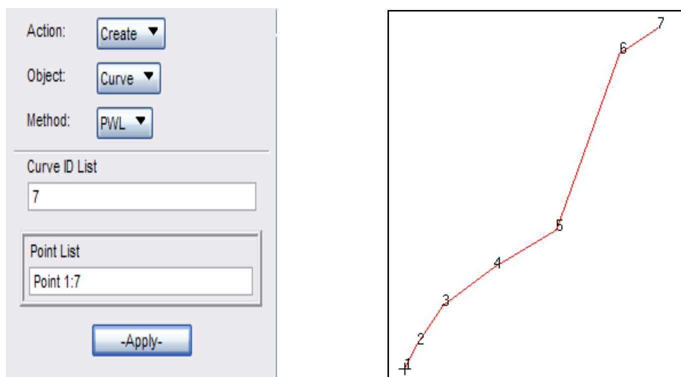


图 3-24 在多点间创建直线

• Spline 方法： 过多个点创建一条曲线或者根据多点拟和一条曲线，如图 3-25 所示，Option 选择 Loft Spline 是过多点创建一条曲线，选择 B—Spline 是根据多个点拟和一条曲线。其中，Loft Spline 法中起始终止点的切线方向矢量可以由用户自己定义。B—Spline 法可以设置样条曲线的次数。

• TanCurve 方法:过两曲线做一公切线，并且可以选择是否裁减原来的曲线，如图 3-26 所示。

• TanPoint 方法： 过一点向一曲线作切线，分为 Closest Tangent Only 和 All

Tangents 两种类型。前者就近做一条切线，后者可以作出多条相关的曲线，同时可以选择是否修建原来的曲线，参见图 3-27 所示。

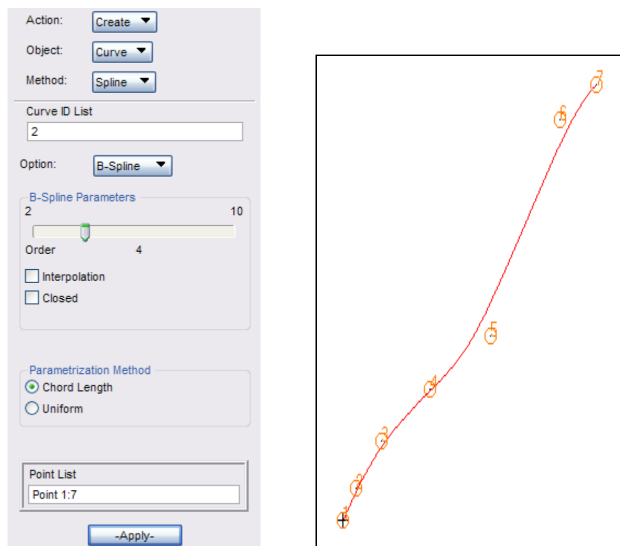


图 3-25　过多点拟和曲线

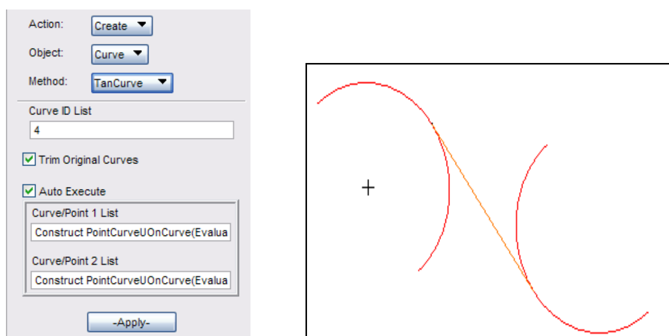


图 3-26　创建两曲线的公切线

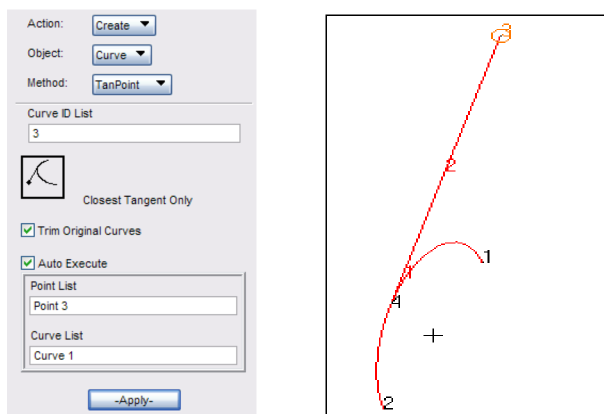


图 3-27　过一点向曲线作切线

• XYZ 方法： 在初始点，按照给定的矢量方向创建一条直线。如图 3-28 所示，在 Vector Coordinate List 中输入矢量。

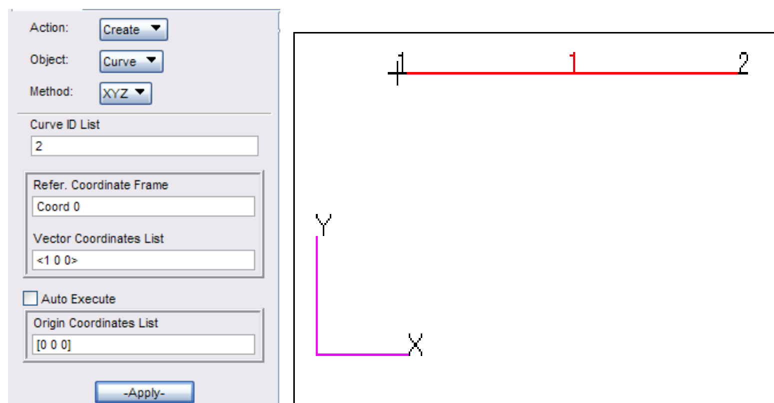


图 3-28　由初始点和矢量创建直线

• Involute 方法： 创建渐开线曲线，如图 3-29 所示，Option 选项中可以选择使用渐开角（Angles）方法或者使用初始、终止半径（Radii）方法来创建渐开线。

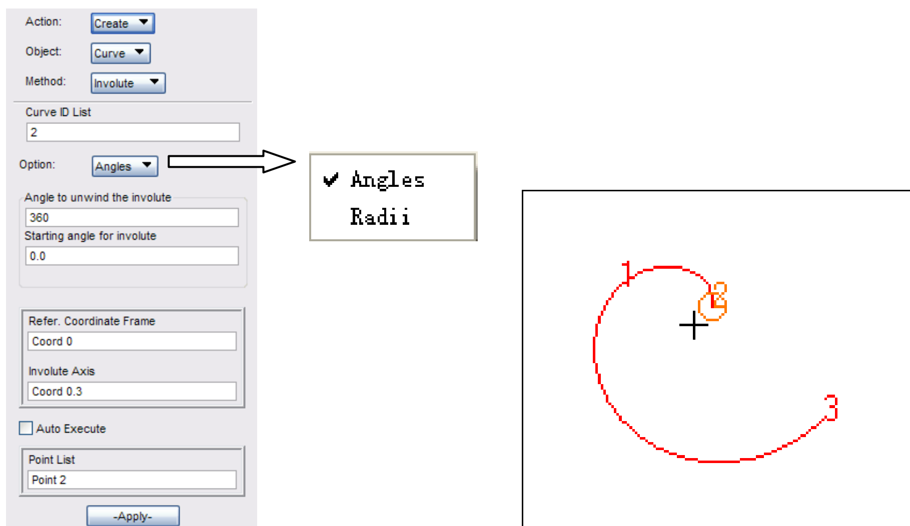


图 3-29　创建渐开线

• Revolve 方法： 通过点绕轴线旋转生成曲线。如图 3-30 所示，该法也就是通过选定点，绕指定的旋转轴线、旋转指定的角度来生成曲线。需要说明的是，旋转轴线既可以是坐标系的坐标轴，也可以是由两点确定的轴。

• 2D Normal 方法： 过一点向一曲线作垂线，如图 3-31 所示，指定垂线的长度的方式有两种，当选择 Input length 选项时，输入垂线的长度，当选择 Calculate Length 选项时，通过计算得到垂线的长度。需要说明的是，垂线的起点是垂足，同时通过 Flip Curve Direction 选项，可以翻转曲线的方向。

• 2D Circle 方法： 以指定的点为圆心，给定半径大小，在给定的平面内，创建一

条圆形曲线，需要说明的是，半径的给定方式有两种，选择 Input Radius 选项，直接输入半径值，选择 Calculate 选项时，选择将会出现在圆弧线上的任一点，Patran 会通过计算得到半径值。

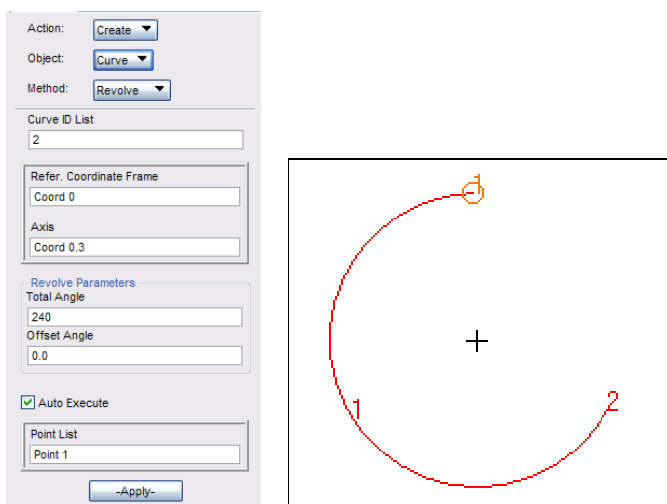


图 3-30　通过点绕轴线旋转生成曲线

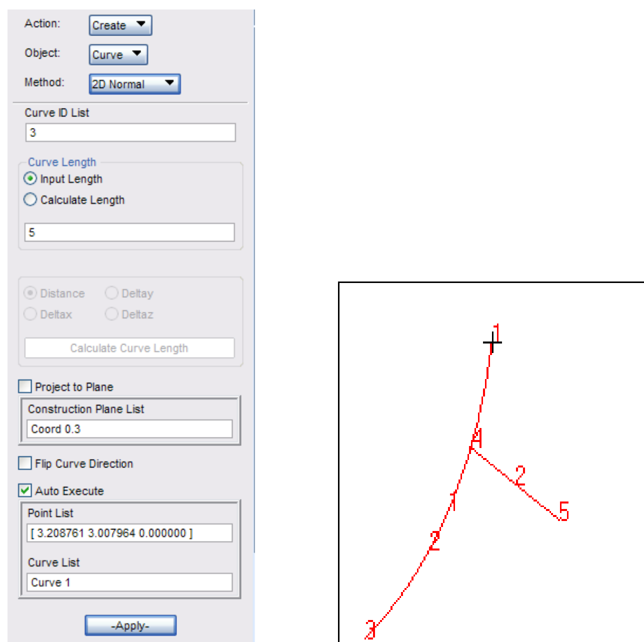


图 3-31　过一点向曲线作垂线

- 2D ArcAngles 方法：　以指定的点为圆心，给定半径的大小，在给定的平面内，根据起始角度和终止角度创建一平面圆弧曲线。
- 2D ArcPoint 方法：　在给定的平面内，当 Option 选择 Center 时，通过指定三点绘制圆形曲线，即圆心、起点、终点，当 Option 选择 Radius 时，通过指定圆的半径，起

点坐标和终点坐标绘圆。

- 2D Arc3Point 方法：根据给定的三点绘圆弧，即起始点、中间点和终点。同时可以选择是否在圆弧圆心处创建一点。

3.1.3 创建曲面

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，单击按钮(Action>Create,Object>Surface)创建曲面，创建曲面往往要以已存在的曲线或者点为基础。同时，为了以后的网格划，在此把曲面分成两类：

（1）简单曲面，含有 3 或 4 条边，可以用两个参数化局部坐标变量描述，如图 3-32 所示，可以用 Isomesh（映射）或者 Paver（自由）Meshers 网格划分器划分二维单元，如图 3-33 所示；

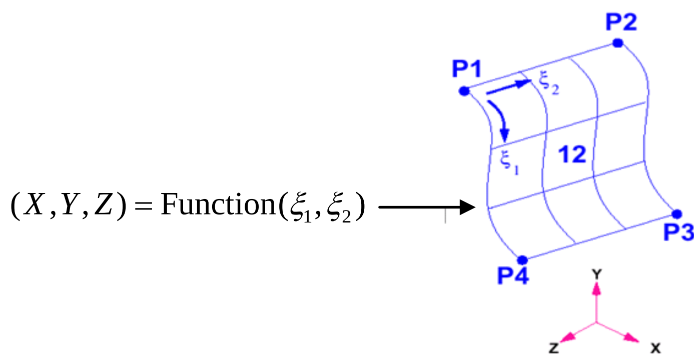


图 3-32 简单曲面

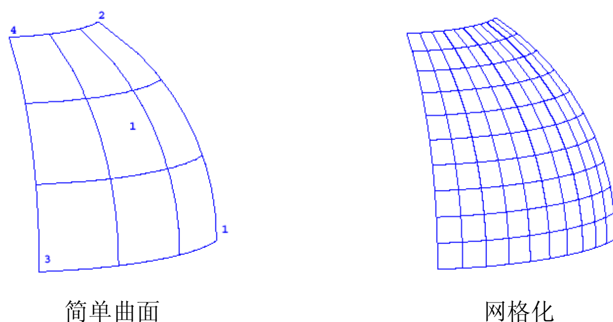


图 3-33 对简单曲面网格化

（2）复杂曲面，由大于 4 条边围成，任意形状的封闭内边界或者任意形状的封闭外边界，一般内外封闭边界都是复杂曲线，如图 3-34 所示，不能用两个参数化坐标变量描述，只能用 Paver Mesher 网格生成器划分二维单元，如图 3-35 所示。创建曲线的方法(Method)有很多种。

- Curve 方法： 根据已有的曲线创建曲面。如图 3-36 所示，可以根据已有的两条、

三条或者四条曲线生成曲面，右图所示为由两条曲线生成的曲面。需要说明的是，这些曲线可以是共面的，也可以是空间曲线。

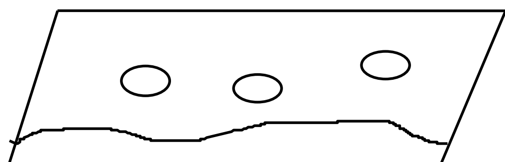


图 3-34　复杂曲面

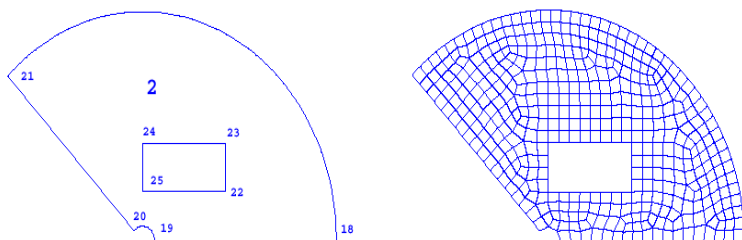


图 3-35　对复杂曲面网格化

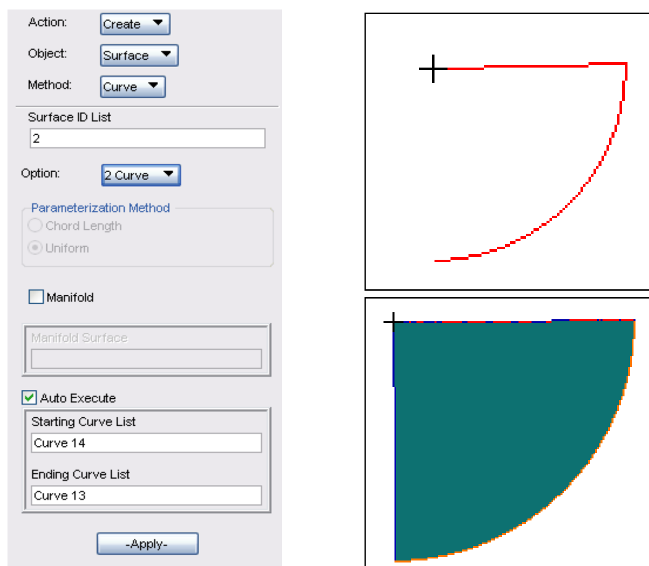


图 3-36　由曲线生成曲面

• Composite 方法：在已有曲面的基础上，创建新的复杂曲面。曲面过多、过于琐碎，则在划分网格的时候比较容易出现问题，所以应该将这样的曲面组合成一个新的曲面。如图 3-37 所示，可以看到在面板上有一个 Inner Loop Option 选项，当选择 All 时，建立的复杂曲面内部闭合的环线都会被作为内部边界来处理，也就是说，新建立的复杂曲面内部是有孔的；若选择 None 则，Patran 会将内部不连续的部分自动的连同，形成一个没有内部边界的复杂曲面，如果选择 Select，Patran 会把该项处理的处理权交给用户，用户可以有选

择地处理内部闭合的曲线。

• Decompose 方法： 根据已有曲面上的 4 个顶点创建一个四边形。这样做的主要目的是为了划分有限元网格的需要。通常，原有曲面是多边形裁剪多边形曲面，建立一个新的四边形，则可以在划分有限元网格时采用 Isomesh（映射）网格划分器。

• Edge 方法：根据已有曲面的边创建新的曲面，Option 按钮中有两种选择，分别是选择 3 条边或者选择 4 条边来创建该曲面。

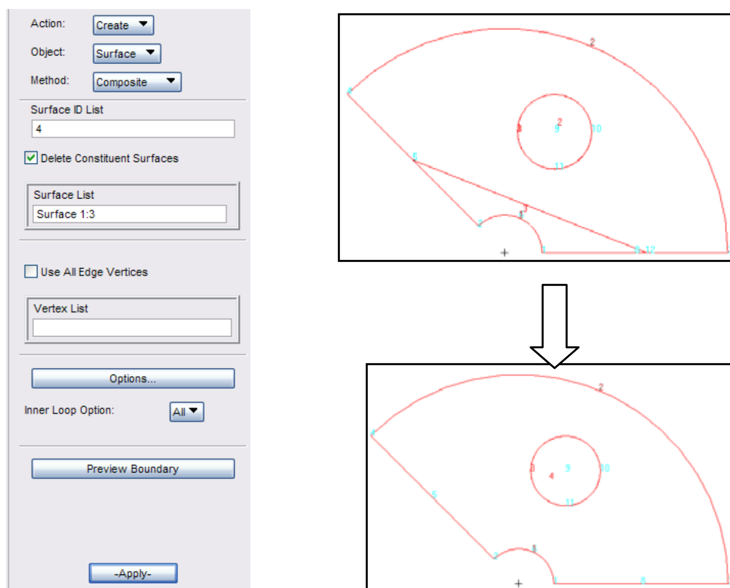


图 3-37　由已有曲面生成曲面

• Extract 方法：在实体表面或者内部创建一曲面，Option 选项选择 Parametric 时，在实体内部创建表面，并且可以选择使用新建曲面和原实体的位置关系，即在实体的自然坐标 u、v、w 中，选择其一，并指定其大小。u、v、w 的值可以在 0～1 之间变化，如果 Option 选择 Face，则在三维实体的表面生成一曲面，图 3-38 所示为参数 u=0.5 时创建的曲面。

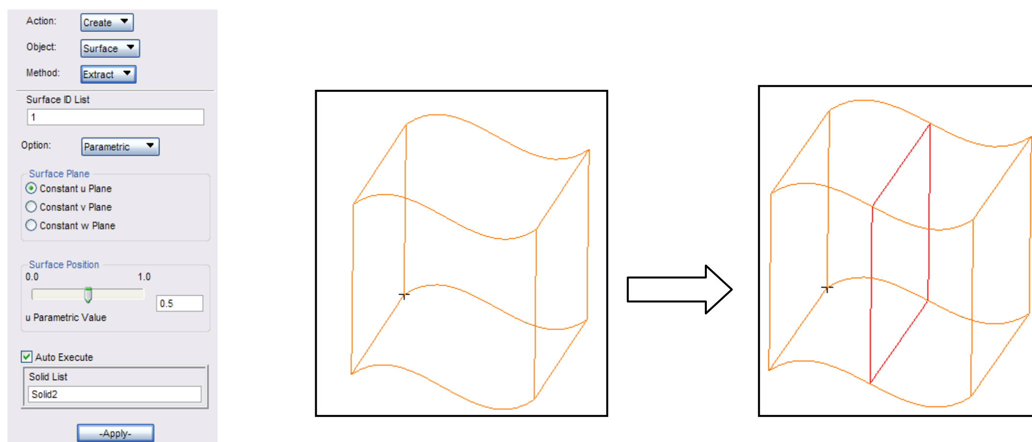


图 3-38　在实体内部或者表面创建一曲面

• Fillet 方法：在已有的两个曲面、实体表面之间创建参数化二次过渡曲面。如图 3-39 所示，过渡曲面的曲率由其通过在 Fillet Parameter 选项中指定其在两端的半径 Fillet Radius 1 和 Fillet Radius 2 来控制。可以选择是否将原有的曲面删除。需要说明的是，已有的曲线不必相交。

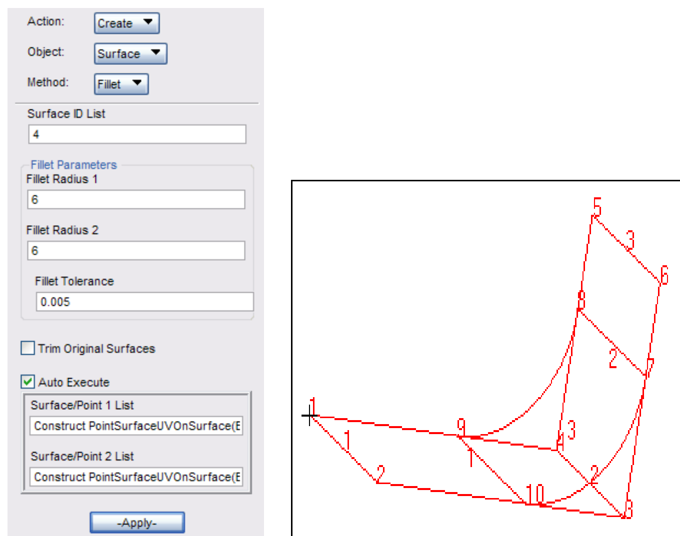


图 3-39　创建过渡曲面

• Match 方法：创建一双三次曲面，将两个已有曲面的相邻近的边连接起来。这方法使用的情况是，两个已有曲面/实体表面的边界在拓扑上是不一致的，两个曲面有两个公共的顶点，但边界是不匹配的，不相连的，参见图 3-40 所示。

• Offset 方法：平移创建一曲面，即将原来的曲面沿其法向或者反法向平移得到一新曲面，可以选择是否保留原来的曲面,参见图 3-41 所示。

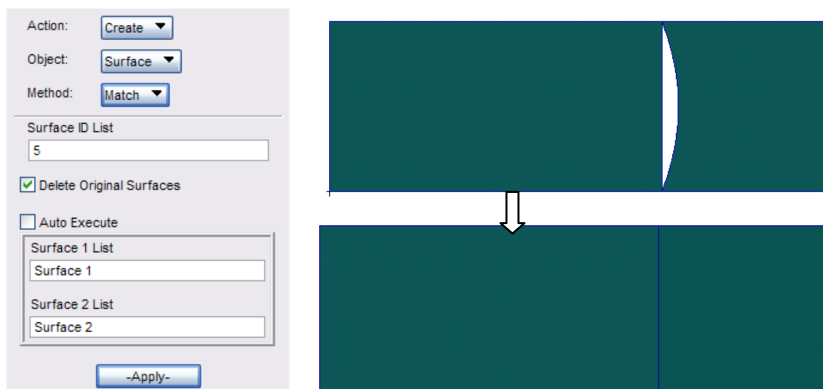


图 3-40　匹配创建曲面

•Ruled 方法：在两条曲线或者边之间生成规则的曲面，如图 3-42 所示，在 Ruling Curve 1 List 和 Ruling Curve 2 List 输入对话框中，输入曲线，即可在两条曲线之间生成曲面。

• Trimmed 方法：创建裁减曲面，如图 3-43 所示，Option 选项中共有三组元素，分

别是：Surface、Planar 和 Composite，Surface 选项用于在已有的曲面上，利用外环线和内环线裁减出具有复杂边界的曲面；Planar 选项用于从一个平面上利用复杂的内外环线裁剪出一个具有复杂边界的平面；Composite 选项用于从多个曲面裁剪生成一个裁剪曲面，此时，原有的曲面之间可以有裂缝和重叠，也不要求拓扑形状一致。需要说明的是，创建裁剪曲面之前，应先用 Create>Curve>Chain，创建一条复杂的曲线作为裁剪曲面的外环线，或者在面板中选择 Auto Chai 参数，将所选择的若干条曲线自动连接成复杂曲线。在三种情况下都可以选择是否保留内外环线。

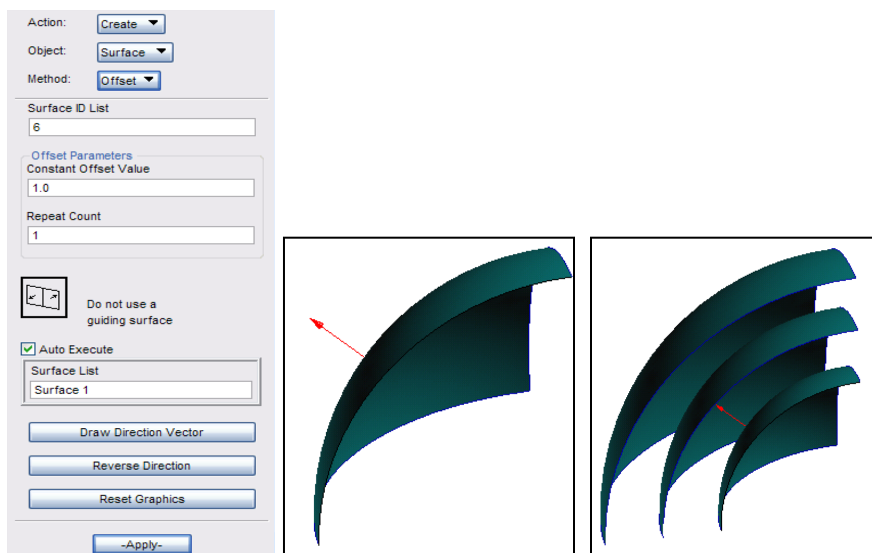


图 3-41　通过平移创建曲面

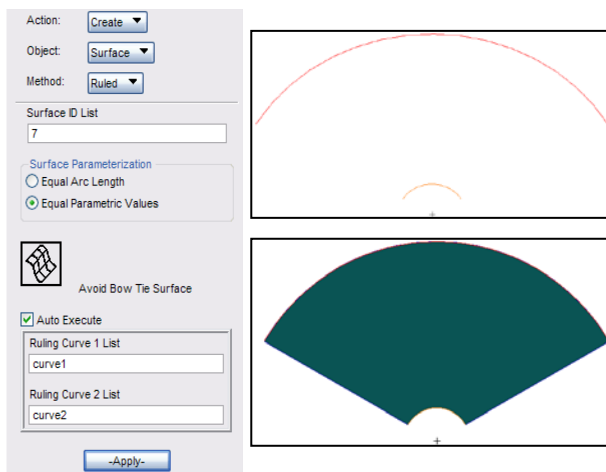


图 3-42　在两条曲线之间生成曲面

- Vertex 方法：根据 4 个顶点生成一曲面。
- XYZ 方法：以给定的矢量方向、大小和给定的原点，创建一平面即从给定的点出发，以给定的矢量为对角线，创建一个矩形平面。

• Extrude 方法： 扫掠生成曲面，如图 3-44 所示，由一条基准的边或者曲线在空间中移动扫成一曲面，在 Translation Vector 选项中，输入矢量，确定移动方向和移动距离。比例因子 Scale Factor 来控制扫成面的形状，Angle 值可以控制扫成面以方向矢量为轴心旋转的角度。

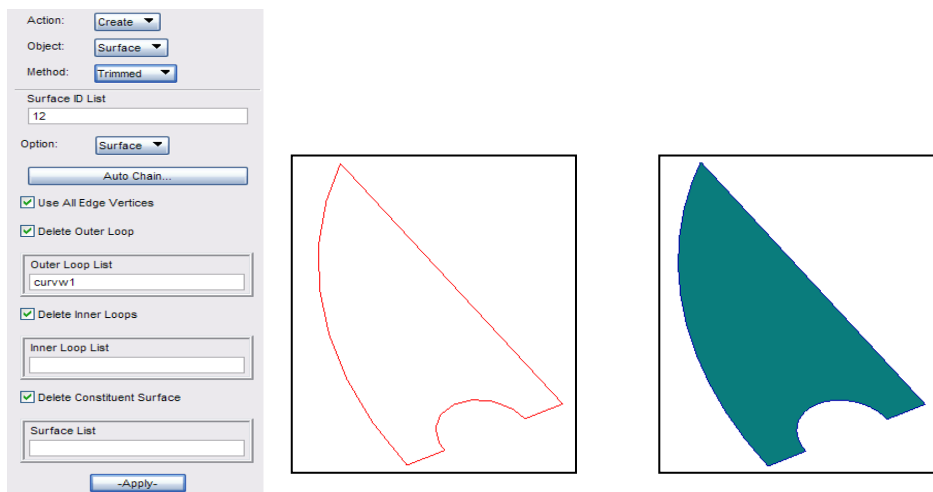


图 3-43　在曲线/边之间生成曲面

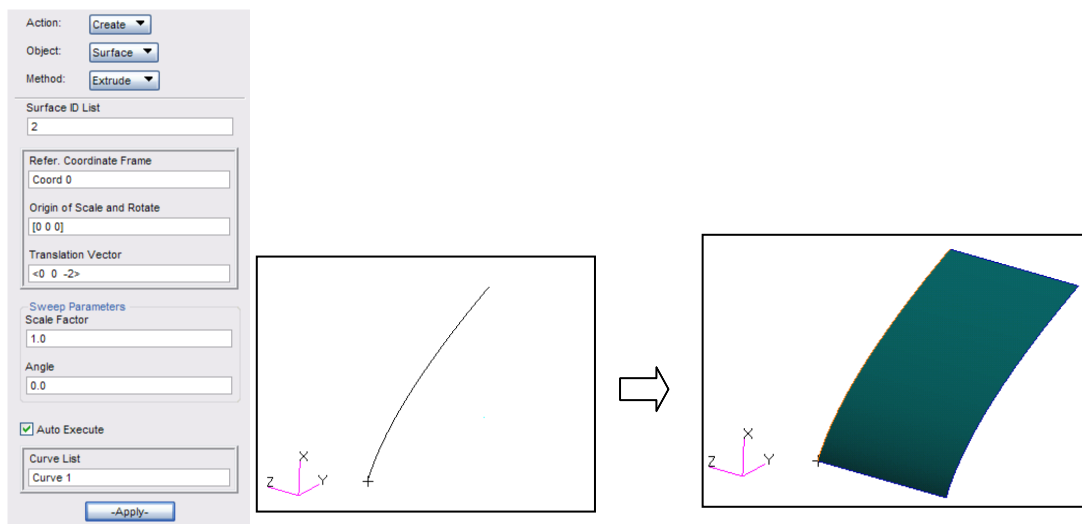


图 3-44　扫掠生成曲面

• Glide 方法：沿方向曲线扫掠生成曲面，该方法与 Extrude 有相似处，如图 3-45 处所示，在 Option 选项中，可以选择一条方向曲线还是两条方向曲线。当选择一条方向曲线时，在 Glide Input Options 选项中，如果选择 Normal Project Glide，则可以消除一个自由度，这样就可以避免曲面扭曲，当选择 Fixed Glide 时，三个转动自由度将被消除，曲线只能平移。如果选择两条方向曲线，就不需要对曲线的运动加以限制，这样可以构造出更为复杂的曲面。需要说明的是，方向曲线可以是一条曲线，也可以是实体的边。

• Normal 方法：沿曲线曲率方向扫掠生成曲面，如图 3-46 所示，新生成的曲面的宽

度可以通过 Thickness Input Option 和 Thickness 选项来确定，Thickness Input Options 选项中可以选择是常宽度（Constant Thickness ）还是变宽度(Varying Thickness)。如果用户需要自己确定扫掠方向，则可以通过 Construction Point Options 选项来实现，首先选中该项，然后输入点的位置即可。

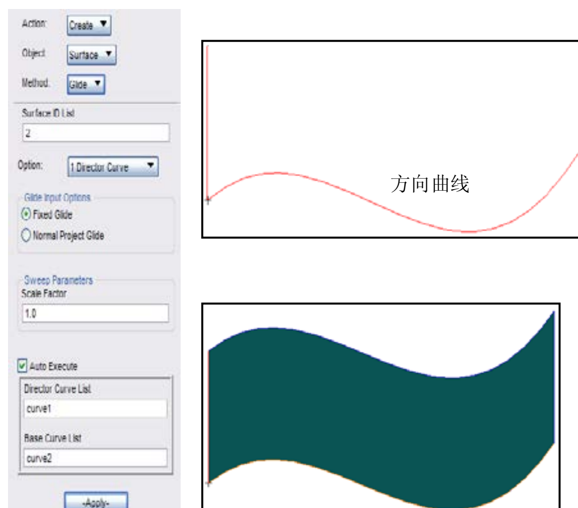


图 3-45　曲线沿方向曲线扫掠成曲面

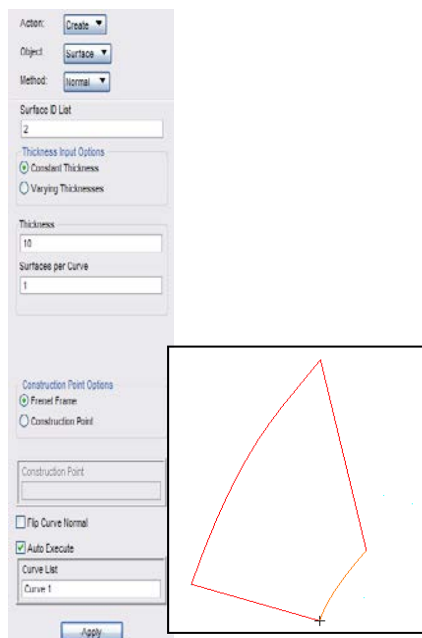


图 3-46　沿曲线曲率方向生成曲面

• Revolve 方法：旋转生成曲面。将指定的曲线绕指定的轴线旋转给定的角度即可完成曲面的创建。如果新曲线相对于基曲线有一定的角度偏移，则在 Offset Angle 项中输入即可，图 3-47 示出的是曲线绕 Y 轴旋转 360º 后生成的曲面。

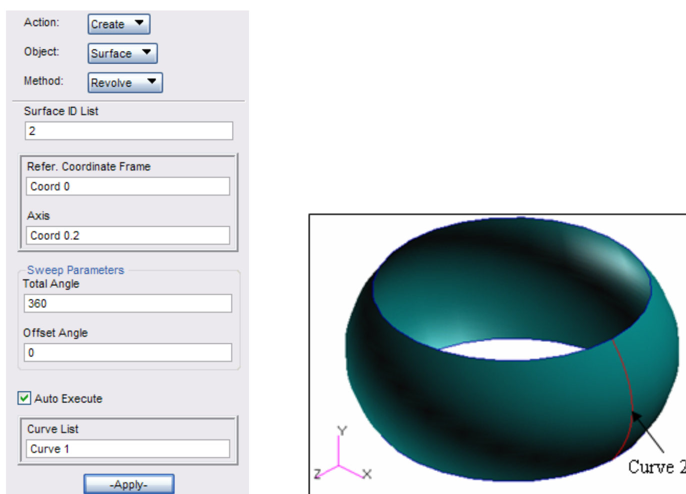


图 3-47　旋转生成曲面

• Mesh 方法：根据有限元单元和节点生成曲面。需要说明的是，该方法主要适用于

模型局部网格化出现困难，根据已经生成的单元节点创建局部曲面，然后再重新生成有限元模型。

• Midsurface 方法：　提取实体的中面。如图 3-48 所示，在提取中面的操作面板上有两组图标，分别代表了两种提取中面的方法，一种是自动提取，另一种是手动提取，右图显示的是按自动提取方法对某零件进行提取中面。

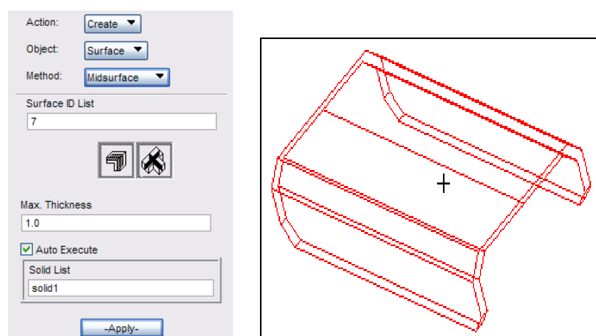


图 3-48　抽取中面

3.1.4　创建三维实体

Patran 中的实体分简单实体(Parametric Solid)和 B-rep 实体(Boundary Representation Solid)，简单实体只能是四面体、五面体或者六面体。可以用 ξ_1,ξ_2,ξ_3 三个参数表示和 P_1～P_8 顶点来表示。如图 3-49，图 3-50 所示，简单实体可以用 IsoMesher 划分成六面体或五面体单元，可以用 Tet 网格划分器，划分成四面体单元。B-rep 实体是由边界面描述的实体，如图 3-51 所示。B-rep 实体只能用 Tet 网格划分成四面体单元，如图 3-52 所示。

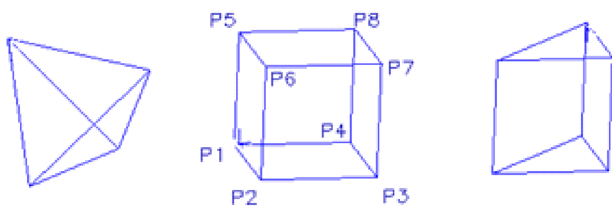


图 3-49　简单实体

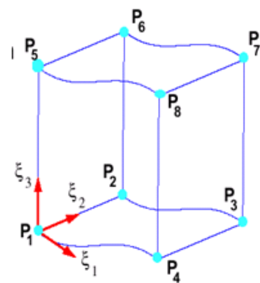


图 3-50　简单实体的表示



图 3-51　B-rep 实体

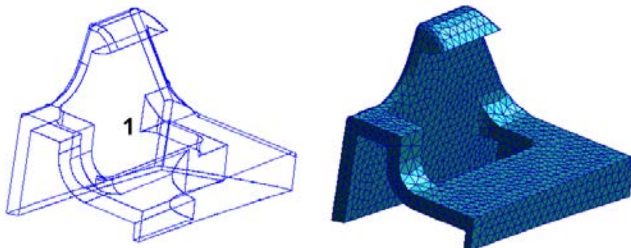


图 3-52　B-rep 网格化

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，单击按钮(Action>Create,Object>Solid)创建三维实体，创建三维实体的方法(Method)有很多种，下面一一介绍：

• Primitive 方法： 创建简单的几何实体，如图 3-53 所示，主要包括长方体、圆柱、圆锥、球体和圆环体。对于每种形体要输入不同的参数，创建长方体要给定基点和三个方向的长度；创建圆柱体要给定圆柱的高度、圆半径、基点和旋转轴；圆锥跟圆柱体类似，只是多了一个上圆半径，如果上圆半径为 0，则为圆锥，如果上圆半径不为 0，则为圆台；球体只要给定球心和半径；创建圆环时，要给定圆环的轴半径、圆环本身截面的半径和旋转轴。需要说明的是，选中 Modify Solid 选项时，即可以对几何形体进行布尔运算，右图对应的是圆环体和圆台视图。

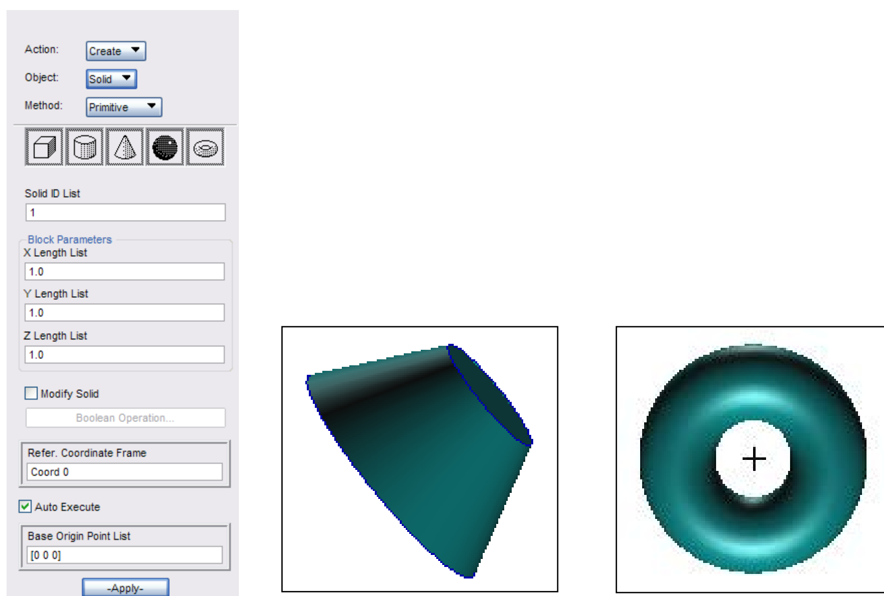


图 3-53 创建简单的几何实体

• Surface 方法： 以曲面为表面来创建几何实体，曲面数可以是 2 个、3 个、4 个或者更多，图 3-54 所示为通过两个曲面构建的几何实体。

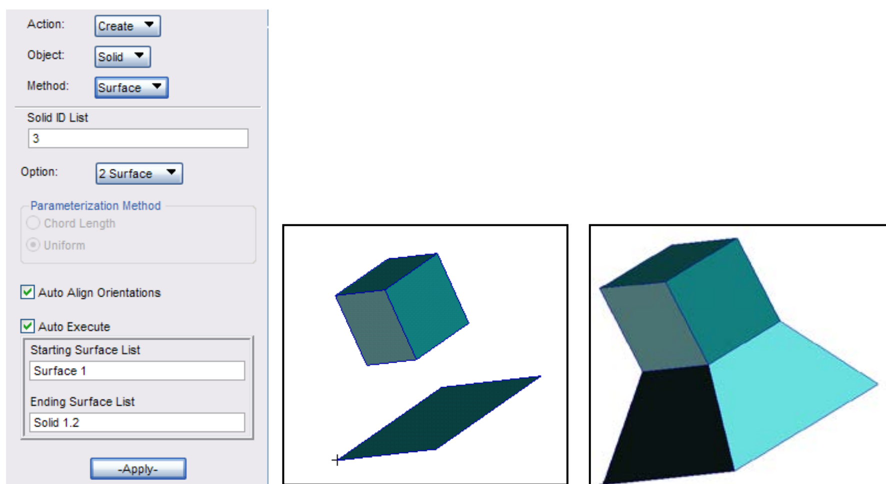


图 3-54 以曲面构建实体

• B－rep 方法：　根据若干封闭的曲面、体的表面生成实体，这些曲面应该是封闭的拓扑一致的。

• Decompose 方法：　在实体两个相对的面之间生成实体。参考图 3-55 所示，具体生成方法为：先选择 Face1，选中实体的一个表面，并且在该面上选择 4 个点作为要创建的实体的 4 个顶点，然后再选择 Face2，选中相对的另一个表面，同样要选择该面上 4 个点作为要创建的实体的 4 个顶点，单击 Apply 完成创建。

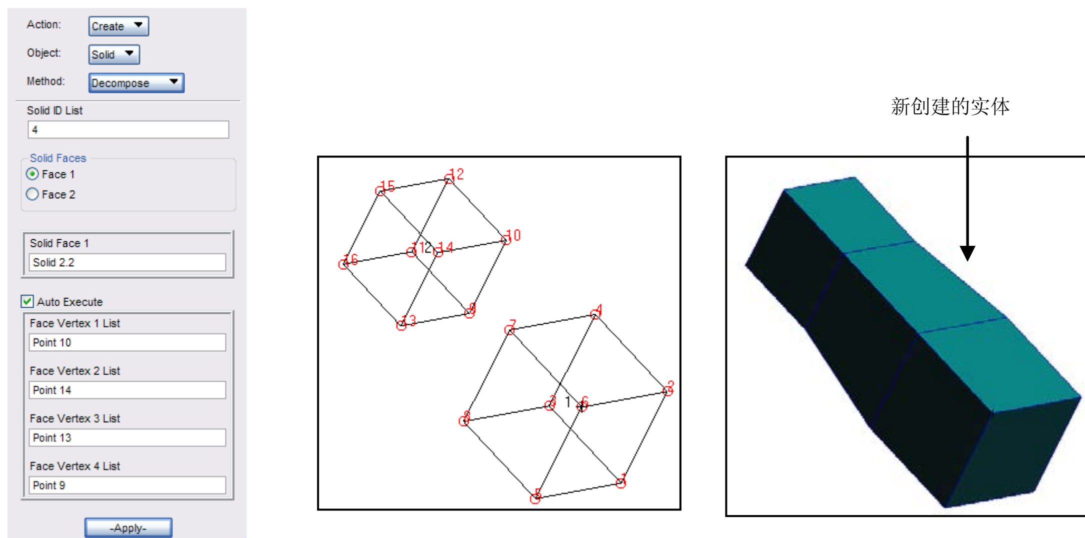


图 3-55　在实体相对面中生成实体

• Face 方法：　由 5 个或者 6 个曲面或者实体表面定义成一个实体。这些面之间没有顺序，也不管它们的方向，只要能够有效的定义一个外表面即可。

• Vertex 方法：　指定 8 个顶点来创建一个实体。需要说明的是，这些点可以是几何点，或是其他实体的角点，图 3-56 所示为用 4 个几何点和 4 个实体的角点为顶点创建实体。

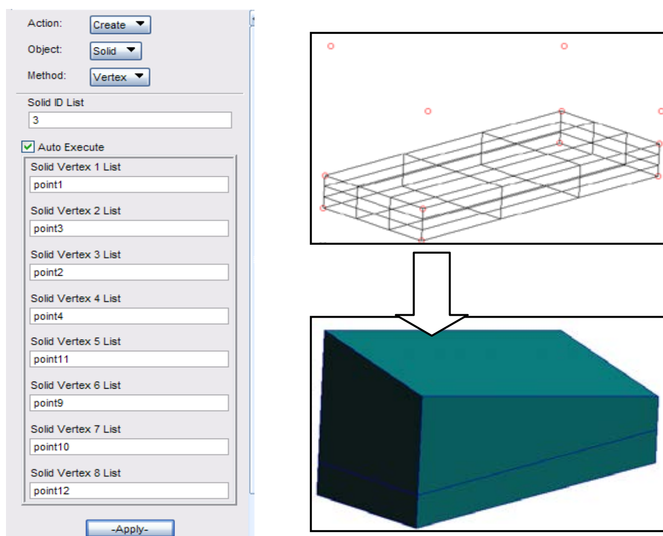


图 3-56　用顶点创建实体

• XYZ 方法： 根据给定的初始点和矢量创建一立方体。需要说明的是，矢量的每一个分量表示了新创建实体在每个方向上的尺寸。

• Extrude 方法：参考生成曲面方法中的此法。曲面从给定的初始点，沿着指定的矢量方向平移，扫掠成一个实体。扫成的实体分为 TetMeshable 和 IsoMeshable 两种类型。

• Glide 方法：参考生成曲面方法中的此法。曲面以给定的曲线为轨迹，扫掠成一体。可以通过参数 Scale Factor 来调整截面大小的变化。

• Normal 方法： 参考生成曲面方法中的此法。给定的曲面沿其法向方向移动，扫掠成实体。

• Revolve 方法：将给定的曲面绕给定的轴旋转，生成实体。可以指定旋转角度的大小和初始角度。旋转生成的实体分为 TetMeshable 和 IsoMeshable 两种类型。

3.1.5 创建坐标系

Patran 中的坐标系是右手坐标系，其支持的坐标系有直角坐标系（Rectangular）、柱坐标（Cylindrical）和球面坐标（Spherical），Patran 通常使用的坐标系是直角坐标系，其标号为 0。但有时由于建模的需要、定义材料特性等需要，用户要定义自己的坐标系，在前面介绍点、线、面、实体的创建过程中，每个面板都有一项 Reger.Coordinate Frame 就是让用户来选择坐标系的。

在 Patran 中单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，单击 （Action>Create,Object>Coord）按钮创建坐标系，如图 3-57 所示，共有 6 种创建方法，下面将一一说明。

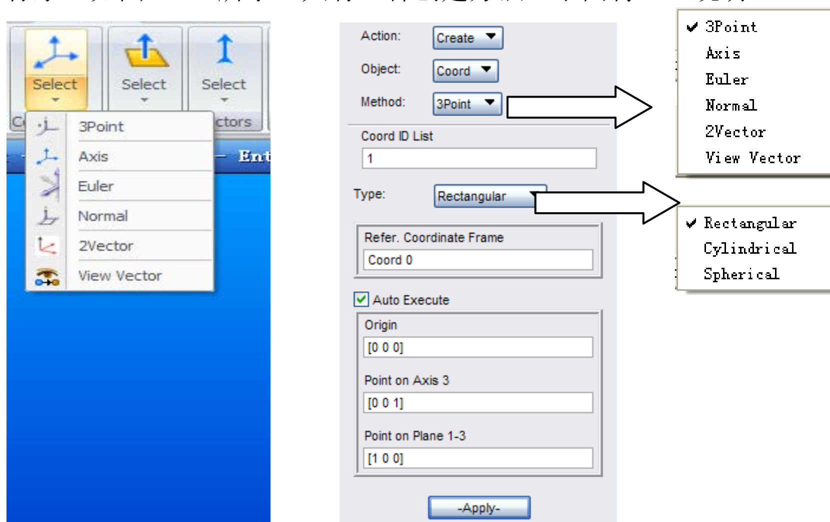
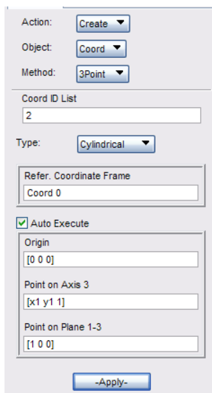


图 3-57 创建坐标系

• 3 Point 方法： 根据三个点来创建坐标系，三个点分别是：坐标系的原点、新坐标系轴 3 上的一个点和新坐标系平面 1-3 上的一个点，用户可以通过 Type 选项来确定建立的是哪种类型的坐标系。图 3-58 所示为利用三个点创建柱坐标。

• Axis 方法：通过给定的原点和两个轴来创建坐标系。给定原点之后，通过给定另

外两个轴上的两个点来确定两个轴，从而建立坐标系。



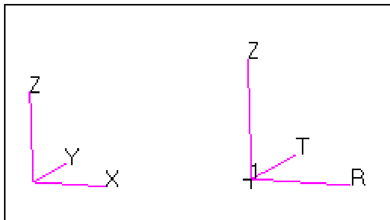
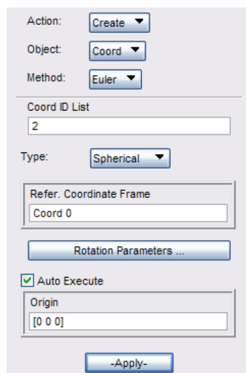


图 3-58　利用三点创建柱坐标

• Euler 方法：把原坐标系通过三次旋转生成新的坐标系。其旋转参数可以通过打开 Rotation Parameters 按钮对应的面板来设定，图 3-59 示出的为在坐标系 Coord 0 中，通过绕 Z 轴旋转 45° 生成球坐标。



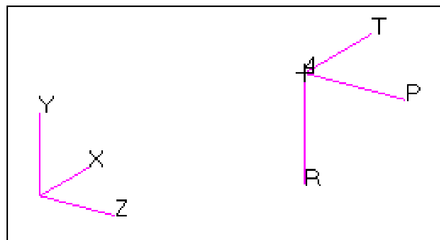
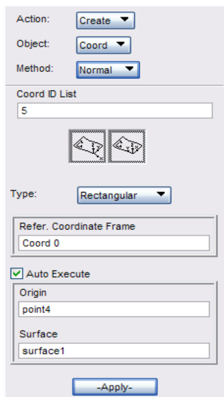


图 3-59　Euler 法生成新坐标系

• Normal 方法：通过曲面创建坐标系。如图 3-60 所示，具体方法为给定原点，选定一曲面，就可以创建一个以给定原点为原点，轴 Y 垂直于所选定曲面的坐标系。同时可以选择轴 X 与曲面的局部坐标 u 还是 v 同向。



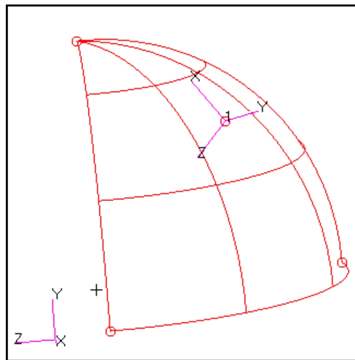


图 3-60　通过曲面建立坐标系

• 2 Vector 方法：通过两个矢量来建立坐标系。具体方法是，首先指定原点，然后指定两个矢量作为坐标系的两个轴向，单击 Apply 即可创建一坐标系。同时可以选择哪两个轴与选定的矢量同向。

• View Vector 方法：把当前的视野平面作为 1—2 平面来建立一个新的坐标系。具体方法只需指定原点。水平方向为 1 轴方向，垂直方向为 2 轴方向，垂直于视野平面向外的方向即为 3 轴方向。

3.1.6 创建平面

单击 **_Geometry_** 应用工具按钮，单击（Action>Create,Object>Plane）按钮创建平面。在 Patran 中创建平面的方法共有 10 种，下面一一简介。

• Point—Vector 方法：通过一个点和一个矢量来创建一个平面，需要说明的是，平面过该点，且其法线方向是给定的矢量方向，如图 3-61 所示。

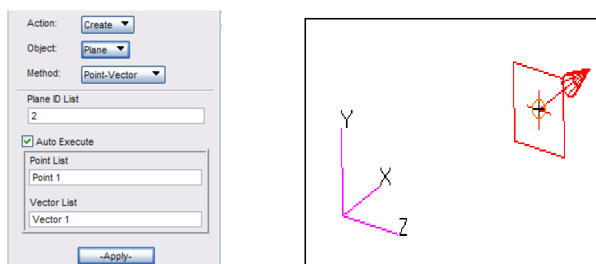


图 3-61 通过一点和一矢量创建平面

• Vector—Normal 方法：通过矢量和偏移量来创建一个平面，如图 3-62 所示，在 Plane Offset Distance 中输入偏移量，所建立的平面以该矢量方向为法线方向，且平面到矢量原点的距离为所设定的偏移量。

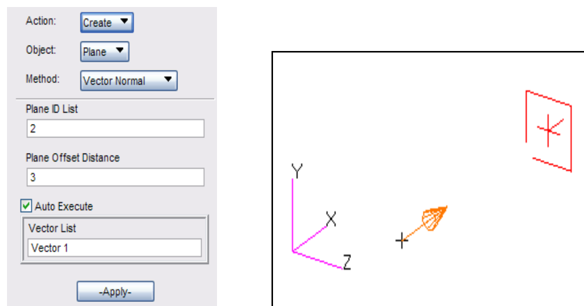


图 3-62 通过矢量和偏移量来创建平面

• Curve Normal 方法：以给定的曲线的切线为法线建立平面，平面的位置可以通过 Option 选项来控制，如果选择 Point，则通过给定曲线上一个点来确定，如果选择 Parametric，则通过曲线的局部坐标 u 来确定。

• Plane Normal 方法：建立一平面过给定的矢量，同时垂直于给定的平面。

• Interpolate 方法：以给定的曲线的切线方向为法线方向建立多个平面。平面的数量可以指定，平面之间的间隔可以设定，如图 3-63 所示。

• Least Squares 方法： 根据最小二乘法拟和创建平面。如图 3-64 所示，Option 中共有三种元素来创建平面，分别是点、线、面。根据点来创建平面，即根据最小二乘法来拟和一平面，使得所有这些点到该平面的距离平方最小，需要说明的是这些点应该不共线；根据曲线来创建平面，即用最小二乘法拟和一曲面；同样，根据曲面创建一平面也是通过最小二乘法拟和得到的。

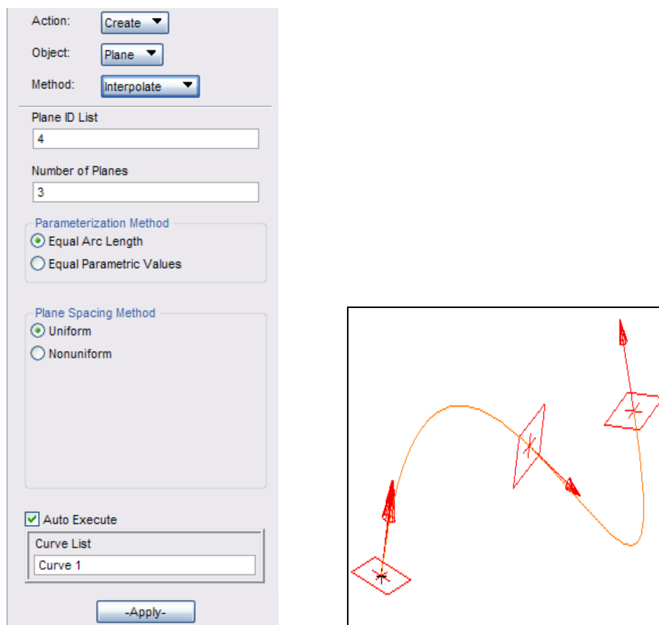


图 3-63　在曲线切线方向建立多个平面

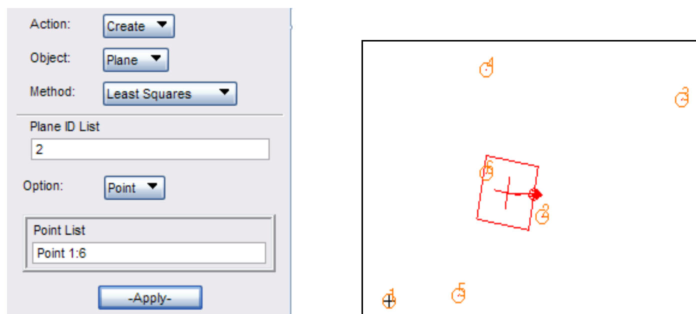


图 3-64　最小二乘法拟和创建平面

• Offset 方法：平移复制一平面得到新平面，可以指定平移的次数。

• Surface Tangent 方法：通过与曲面相切建立一平面，Option 有两个选项，分别是 Point 和 Parametric。选择 Point 则过曲线上的一点创建一个与曲面相切的平面；选择 Parametric 则通过给定的曲面局部坐标的位置创建一与曲面相切的平面，如图 3-65 所示。

• 3 Pionts 方法： 过不共线的三个点创建一平面。

• 2 Vectors 方法： 根据两不平行的矢量创建一平面，该平面过第一个矢量，平面的法向矢量以前面两矢量的空间交点为原点。

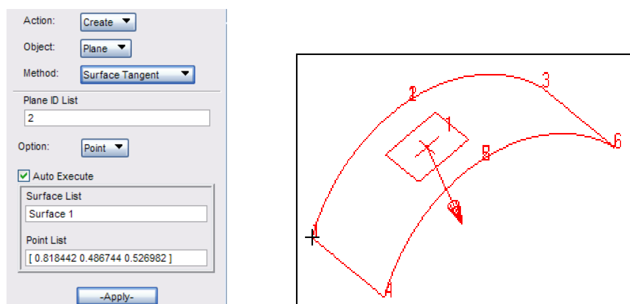


图 3-65　与曲面相切创建平面

3.1.7　创建矢量

前面讲了建立几何元素的多种方法，几何元素多种多样，但是建模的方法有相似之处，表 3-1 为创建矢量的方法。

表 3-1　创建矢量的方法

方　法	说　　明
Magnitude	通过指定矢量方向、模的大小和基点创建矢量
Interpolate	在曲线不同的位置创建多个矢量、相应的曲线的切线方向即为该处矢量的方向
Intersect	在两平面的交线创建一矢量。矢量参考平面的基点在交线上的投影确定了该矢量的基点和大小
Normal	以给定的点为基点，垂直于另一面创建一矢量，需要说明的是这里的面可以是平面、也可以是曲面或者单元面
Product	用两个矢量相乘来创建一个新矢量，该新矢量的基点是第一个参考矢量的基点
2 Point	两点创建一个矢量

3.2　转化创建几何模型

Transform 是常用的几何建模操作，通过它可以对已有的几何元素进行平移（Translate）、旋转（Rotate）、缩放（Scale）、镜像（Mirror）等操作来创建新的几何模型。

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，选择 Transform 中的图标，打开转化创建几何模型的面板，如图 3-66 所示，转换的对象包括点、曲线、曲面、实体、坐标系、平面和矢量。

下面以点为例讲述一下转换创建对象的具体方法：

• Translate 方法：　以给定的点为参考，根据指定的矢量方向创建点，可以一次创建多个点。需要说明的是，如果参考坐标系是直角坐标系则沿直线创建点；如果参考坐标系为球坐标系或者柱坐标系，则沿弧线创建点，图 3-67 所示为在柱坐标系下，通过 Point 1-7，创建 Point 8-14。

• Rotate 方法：通过旋转创建点。以选中的点为参考，根据给定的轴线、指定的旋转角度和重复次数通过旋转来创建点，如图 3-68 所示，选择 Point1 作为基点，Repeat Count 设置为 6，Rotation Angle 设置为 30，即可在半圆周上生成等间距分布的点。

• Scale 方法：　通过缩放来创建点。以选定的点为参考，根据指定的基点、各方向缩放比例系数、重复次数来创建新的点。

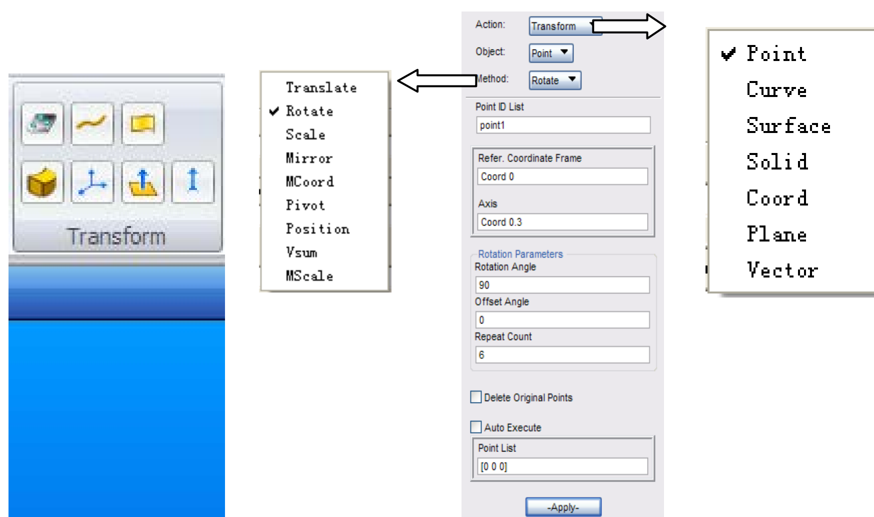


图 3-66　转化创建几何模型

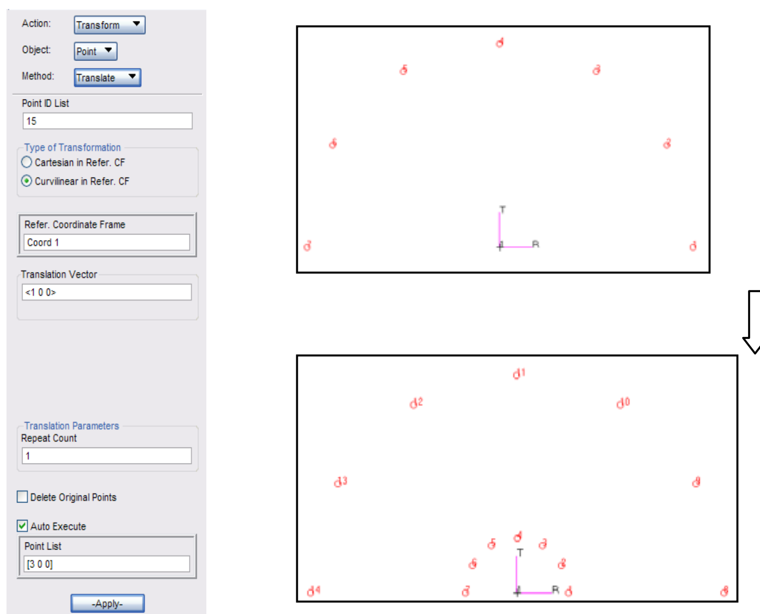


图 3-67　平移创建点

• Mirror 方法：　通过镜像来创建点。以选定的点为参考，通过指定对称平面，在参考点的对称位置创建新的点，同时可以设定对称平面的偏移量。参见图 3-69 所示。

• MCoord 方法：　根据参考点 a 在 A 坐标系中的位置，在坐标系 B 中创建 b，使 b 在 B 中的坐标和 a 在 A 中的坐标相同。

•Pivot 方法：　在定义的平面内通过旋转创建点。如图 3-70　所示，通过 Pivot Point、Starting Point 和 Ending Point 可以定义一个平面，以通过 Pivot Point 点且垂直于该平面的直线为轴线，根据 Starting Point 和 Ending Point 旋转参考点生成新的点。

• Position 方法：　根据原始点和目标点的位置关系来创建新的点，如图 3-71 所示，原始点共有三个，相应的目标点也有三个，如果选定的三个原始点和三个目标点之间的尺寸不匹配，则按比例进行缩放。

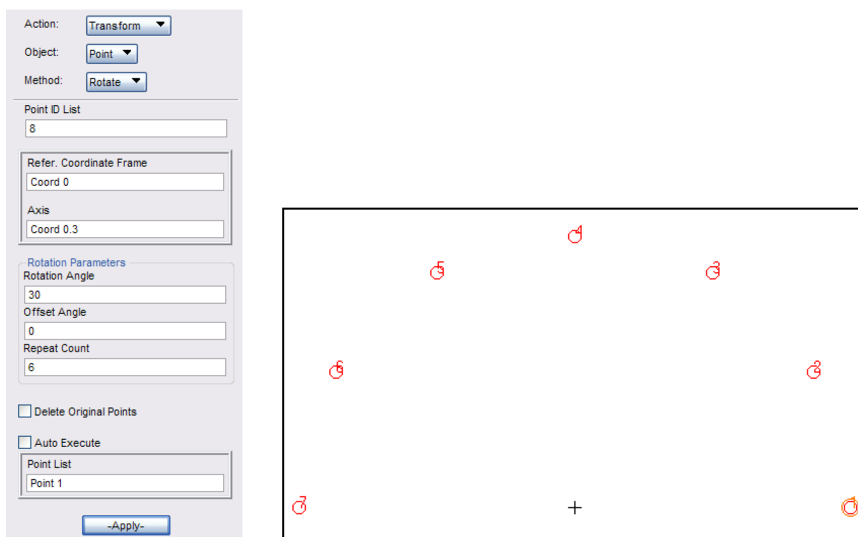


图 3-68　通过旋转创建点

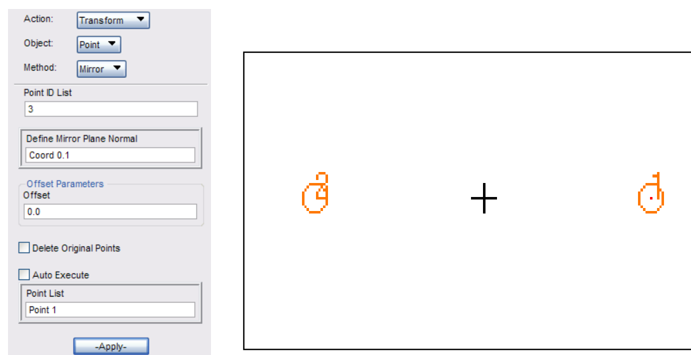


图 3-69　镜像创建点

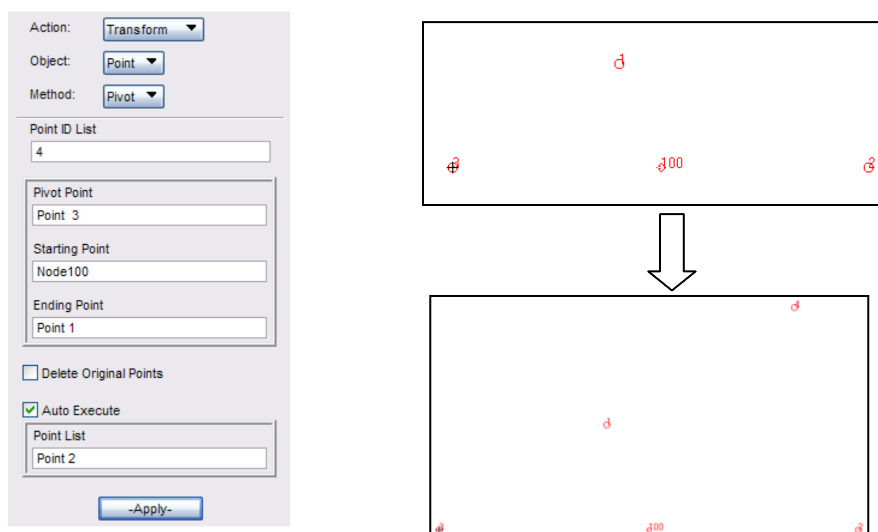


图 3-70　在定义的平面内通过旋转创建点

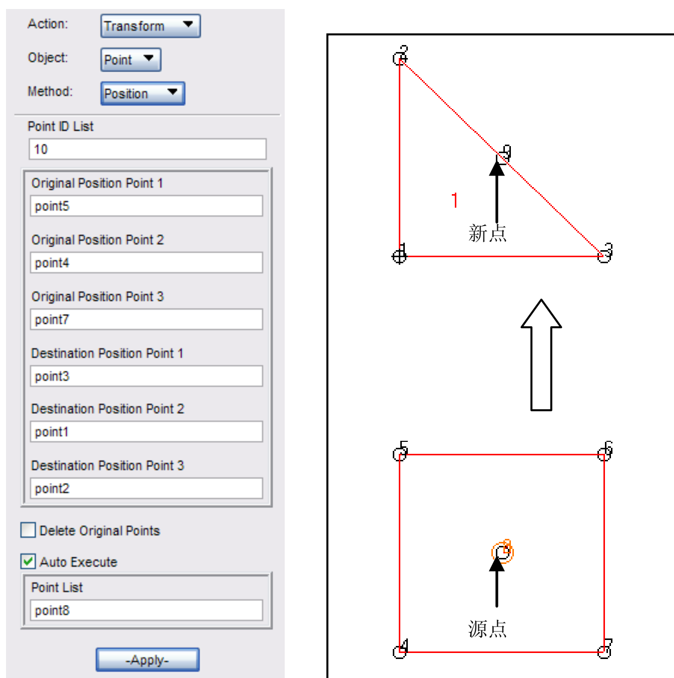


图 3-71　通过三点定位来创建一个新点

• Vsum 方法：通过矢量求和的方法创建新的点。首先要指定两组矢量，则两组矢量和两组点之间对应形成两组矢量。将这两组矢量按顺序对应求和，则在和矢量位置创建新的点。同时可以在 Multiplication Factor 1 和 Multiplication Factor 2 选项中分别设置两组矢量在各个方向上的放大比例因子，如图 3-72 所示。

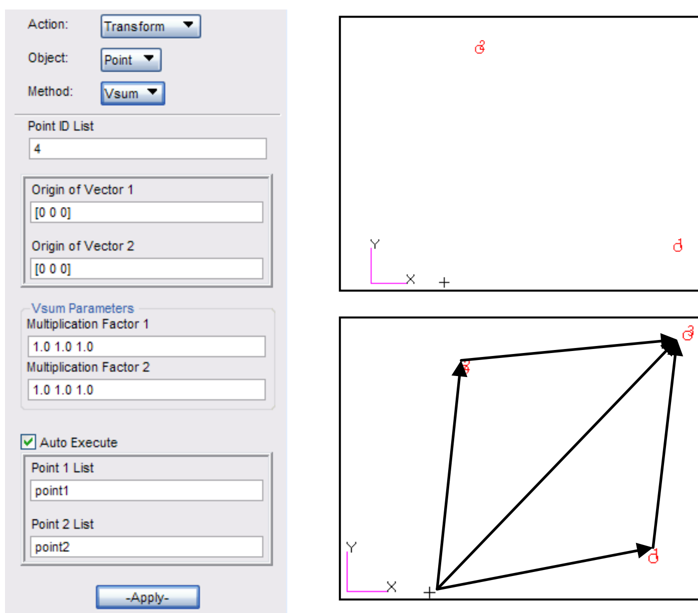


图 3-72　通过矢量求和创建点

• MScale 方法：通过移动、缩放、旋转来创建新的对象。如图 3-73 所示，指定原点，选定平移矢量，指定矩阵各分量，通过缩放、平移和旋转产生新的点。

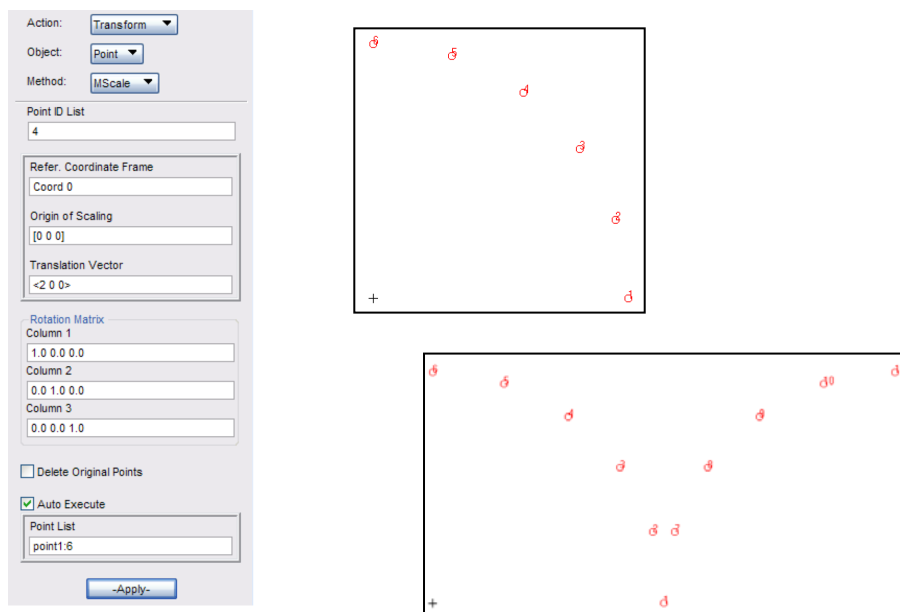


图 3-73　通过平移、缩放和旋转来创建新的点

对于曲线、曲面、实体、坐标、平面、矢量的转换操作参见对点的操作。

3.3　Patran 的输入输出接口

3.3.1　Patran 输入接口

Patran 作为世界上一流的有限元分析前后处理器，其本身不但可以作为一个完整的应用系统独立运行，进行各种复杂模型的实体建模，还可以配合满足不同需求的可选应用模块完成各种工程分析。并行 CAE 工程使 Patran 从另一个角度打破了传统有限元分析的前后处理模式，其独有的几何模型直接访问技术为基础的 CAD/CAM 软件系统间的几何模型沟通，及各种分析模型无缝连接提供了完美的集成环境。应用工程师可直接在 Patran 框架内访问现有的 CAD/CAM 系统数据库，读取、转换、修改和操作正在设计的几何模型。有限元分析模型可从 CAD 模型快速的直接生成，用精确表现真实产品设计取代以往的近似描述，进而省去了在分析软件系统中重新构造几何模型的传统过程。如图 3-74 所示，Patran 访问外界几何的数据都是通过选择菜单 File 中的 Import 命令实现的。

如图 3-75 所示，Patran 目前支持两种几何造型核心的传输标准，即 Parasolid xmt 和 ACIS。Patran 可以直接读入主流 CAD 的几何模型，包括 CATIA、EUCLID3、I-DEAS、Pro/Engineer 和 Unigraphics 软件。另外 Patran 还支持多种几何传输标准，包括 IGES、STEP、STL 和 VDA 格式。

为了说明问题，下面以 IGES 为例，阐述导入文件的主要过程。选择菜单 File>Import 命令，打开导入文件面板，Object>Model，Source >IGES，打开 IGES Options 按钮，进行

相关的参数设置，如图 3-76 所示，选择要导入的文件，单击 Apply 按钮，此时，Patran 会弹出一个窗口，显示正在进行的工作。最后 Patran 会弹出一模型导入报告，如图 3-77 所示，完成模型输入。

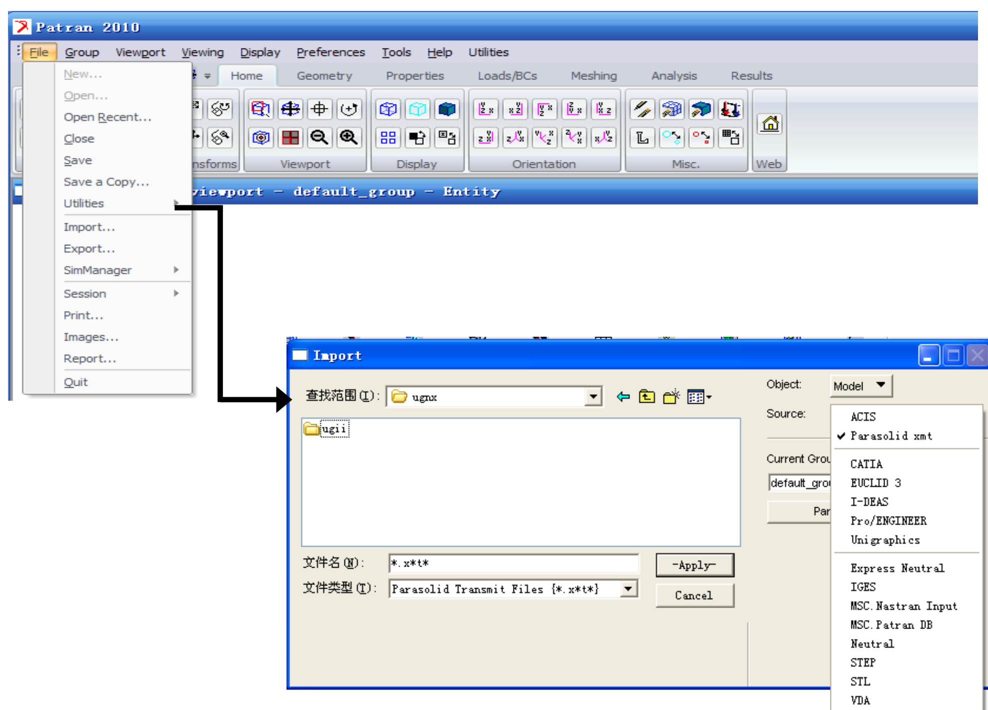


图 3-74　Patran 导入文件面板

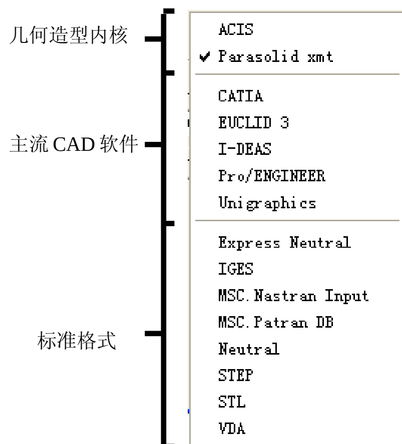


图 3-75　Patran 导入文件的类型

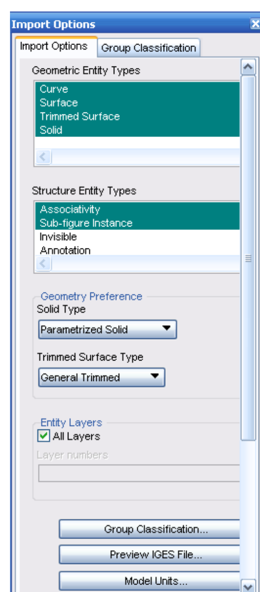


图 3-76　设置 IGES 模型输入参数

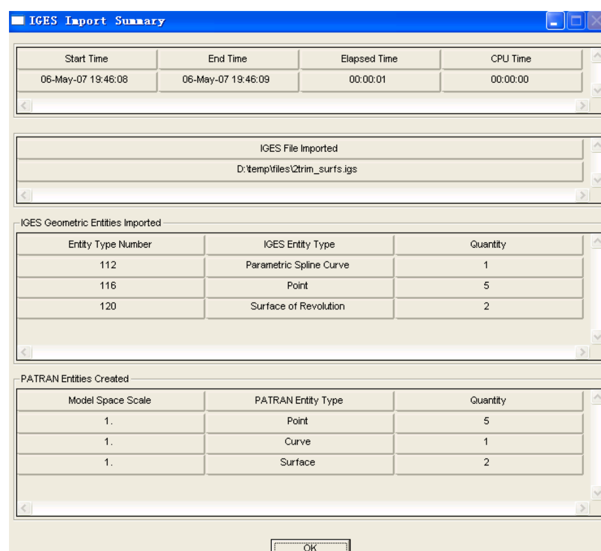


图 3-77　导入模型时的报告信息

3.3.2　Patran 输出接口

Patran 作为一个前处理系统，也可以将几何数据输出到其他 CAD 系统或者前处理系统中。如图 3-78 所示，Patran 输出几何数据都是通过选择 File 中的 Export 命令来实现的。

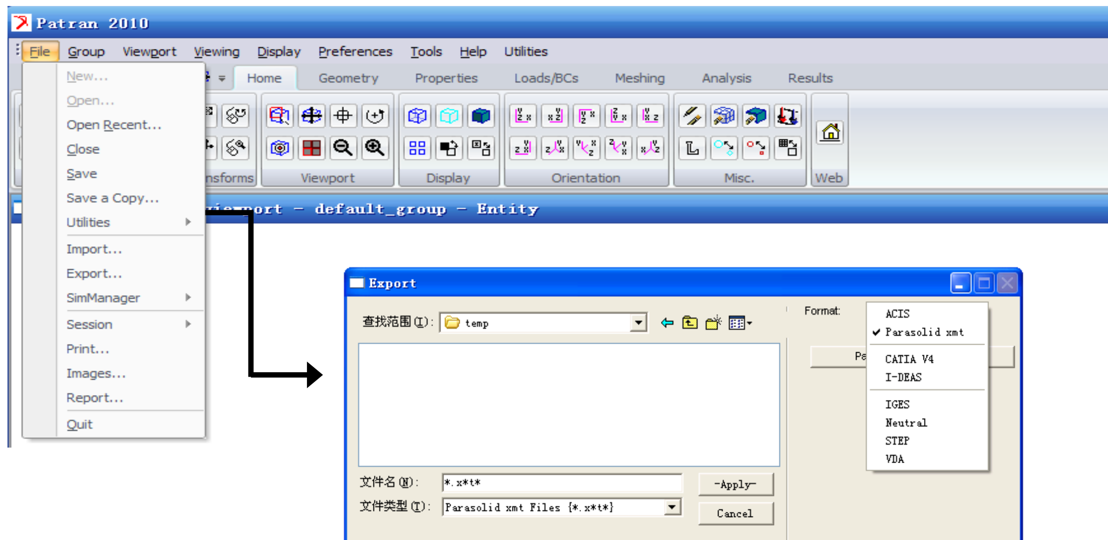


图 3-78　Patran 输出文件面板

Patran 目前支持两种几何造型核心的传输标准，即 Parasolid xmt 和 ACIS。同时 Patran 还可以直接导成 CAD 软件 CATIA V4、IDEAS 的文件格式。Patran 还可以导成以下标准格式的文件，分别是 IGES、Neutral、STEP 和 VDA 格式。下面简介一下输出文件的特点，输出的 Parasolid xmt 文件包括指定类型的 Parasolid 几何，并能指定 Parasolid 版本，没有

结果信息。输出的 ACIS 文件包括几何信息，没有结果信息。输出的 CATIA V4 文件 IDEAS 文件只有几何信息。输出的 IGES 文件的内容包括点和所有的线和面、剪切参数面、有限元节点和单元、没有结果信息。Patran 中性文件 Neutral 输出的内容包括有限元节点、单元和材料特征、单元特征、坐标系等，没有结果信息。Patran 输出的 STEP 文件对 AP203 类型和 AP214 类型只能输出几何，而对 AP209 类型可以输出几何、有限元网格、分析设置或分析结果。输出的 VDA 文件只有几何信息，没有结果。

3.4　编辑几何模型

创建几何模型只是创建几何模型中最基本的部分，为了满足实际几何模型的需要，还要对各种几何元素进行编辑、修改，使其满足实际几何模型的需要。Patran 有非常丰富的几何编辑功能，下面就简单介绍一下。

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，单击 (Action>Edit) 按钮，如图 3-79 所示，可以对点、曲线、曲面、实体、和特征进行编辑。

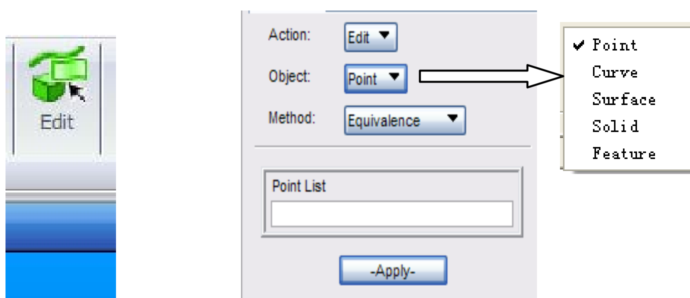


图 3-79　编辑面板

3.4.1　编辑点

• Equivalence 方法： 在创建点的时候，可能会在空间同一位置(总体模型公差之内)创建若干个点，从而导致模型在这些点处不连续，该方法是查找重合点并且合并成一个点，图 3-80 示出将 Point 5 和 Point 6 合并的情形。

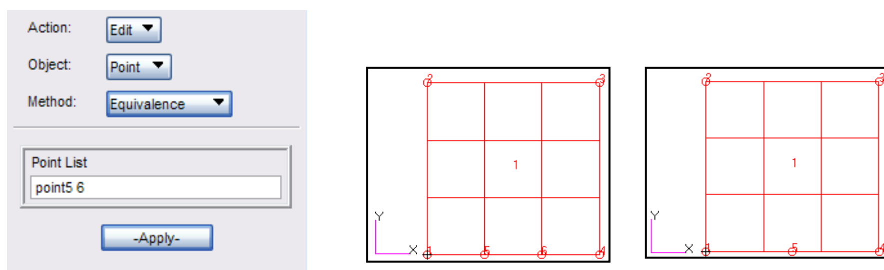
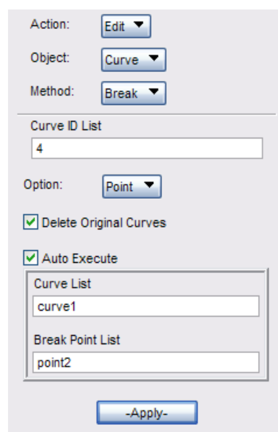


图 3-80　合并点

3.4.2　编辑曲线

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，单击（Object>Curve）按钮打开对曲线编辑面板，对曲线的编辑的方法共有 8 种。

- Break 方法：将曲线打断，如图 3-81 所示，Option 选项中共有三个选项，分别是用点、参数和平面将已有的曲线分成几段。需要说明的是，用来打断曲线的点不一定要在曲线上，此时将会以该点到垂线的垂足位置断开曲线。
- Blend 方法： 把一系列首尾相连的曲线采用平滑的过渡的方法重新连接，新曲线过原来曲线的首尾点，且与原曲线在连接点处相切，如图 3-82 所示。



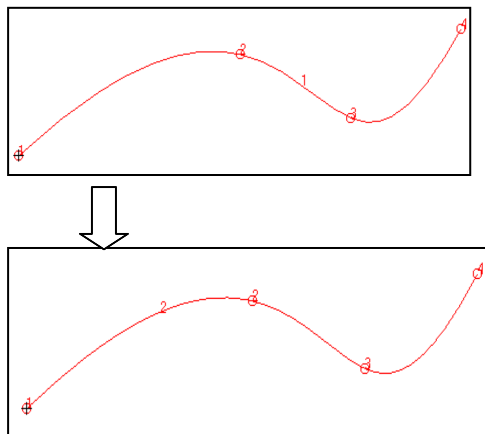
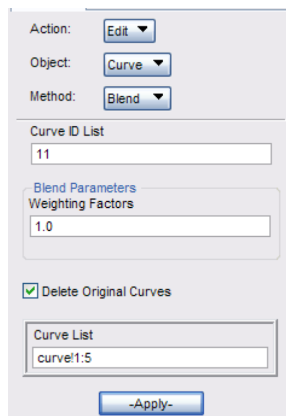


图 3-81　打断曲线



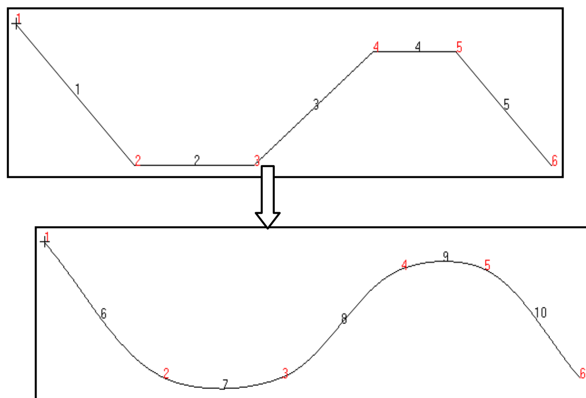
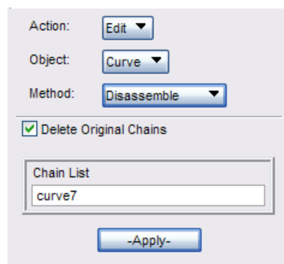


图 3-82　平滑处理曲线

- Disassemble 方法： 将由 Create>Curve>Chain 创建的曲线打散到原来各段曲线的状态，参见图 3-83 所示。
- Extend 方法： 延伸曲线，如图 3-84 所示，在 Option 按钮中有两种选项，当选择 1 Curve 选项时，共有 5 种方式，分别是直线延伸、连续曲率延伸、经过点延伸、整圆延伸、和延伸到另一条曲线。直线延伸是从曲线上指定的点开始，沿着曲线在该点的切线和曲线的正方向延长给定的长度；连续曲率延伸是根据给定点处曲率的大小延伸曲线；过点

延伸即要求曲线延伸时过所指定的点；整圆延伸是将部分圆弧生成一个整圆；到另一条曲线的延伸是延伸至另一条曲线上。需要说明的是，如果两条曲线不共面，延伸至两曲线的空间交点为止。如果选择 2 Curve 选项时，同时延伸两条曲线，直到两条曲线的空间交点为止。



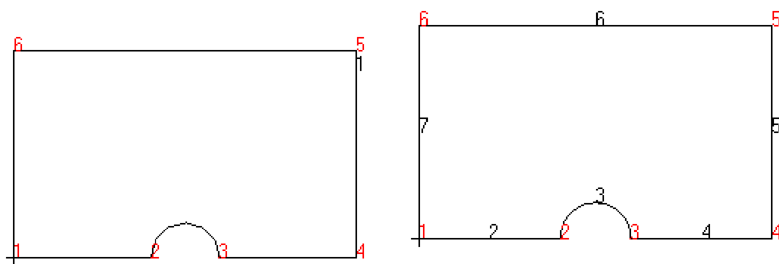
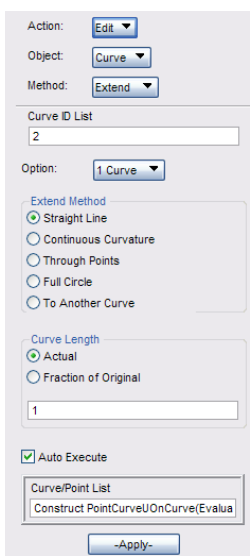


图 3-83　打散曲线



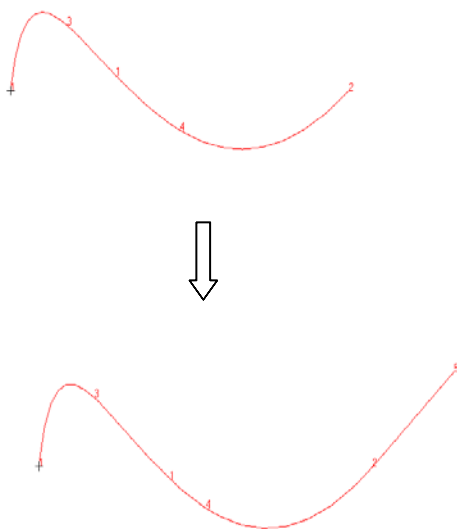


图 3-84　延伸曲线

- Merge 方法：　将多条相连的曲线连成一条或者多条曲线。需要说明的是，新曲线将不严格地过原有的曲线，而主要是做平滑拟和处理。
- Refit 方法：　当 CAD 读入几何模型或者用平面切割几何时，会产生高阶曲线，这些高阶曲线的存在会严重影响网格划分，若 Option 选择 Uniform 则根据已有曲线创建三次曲线，以近似高阶部分。
- Reverse 方法：　将曲线的自然坐标正方向反向，从而重新定义已有一组曲线的连接。
- Trim 方法：　裁剪曲线。以给定的点和自然坐标为界，将曲线多余的部分裁剪。

3.4.3　编辑曲面

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，单击 （Object>Surface）按钮，打开对曲面编辑面板，

有多种对曲面的编辑方法，下面一一介绍。

• Break 方法：将曲面分成两个或者多个曲面。共有 6 种方式来分割曲面。选择 Curve 时，用曲线来分割曲面，该曲线可以不在曲面上，但是在曲面上的投影必需与曲面的相对边相交；选择 Surface 时，用曲面分割原曲面，即用两曲面的交线将原曲面分割；选择 Point 时，用点来分割原曲面，如果点在曲面的边界上，则将曲面分成 2 部分，如果点在曲面的内部，则将曲面分成 4 部分；选择 2 Point 时，通过两点定义的曲线来分割原曲面；选择 Parametric 时，将根据曲面的局部坐标将曲面分割，可参考图 3-85 所示。

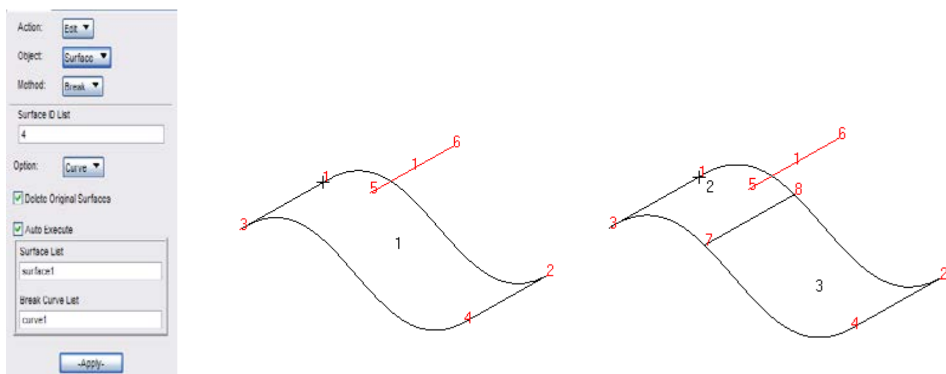


图 3-85　分割曲面

• Blend 方法：将已有的一组曲面创建参数化双三次曲面。需要说明的是，每两组曲面之间至少要有一条公共边，类似于曲线的编辑，相邻曲面的边界处将作平滑处理，可以通过权重系数 Weighting Factors 来调节对选定曲面边的改变程度，权重系数的值从 0 到 1。参见图 3-86 所示。

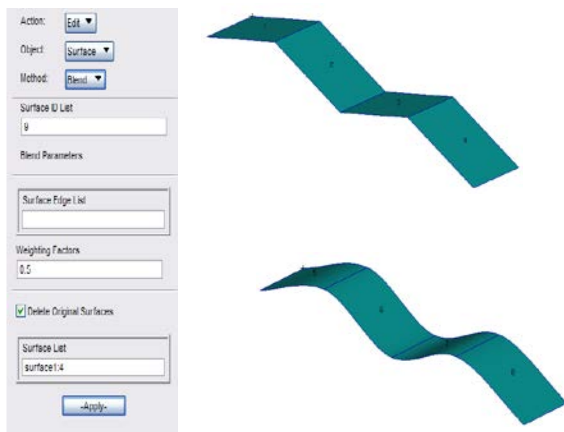


图 3-86　创建双三次曲面

• Disassemble 方法：恢复创建裁剪曲面之前各曲面的状态。

• Edge 方法：编辑裁剪曲面的边，共有三种编辑方式，分别是去除、添加和替换曲面的边，Option 选项中对应两种选择，分别是 Edge 和 Edge Length，选择 Edge 时要选中要裁剪的曲面和裁剪的边，选择 Edge Length 时，输入最小边的长度，小于该长度值的边将被裁剪，参见图 3-87 所示。

• Edge Match 方法：通过重新创建曲面使已有曲面之间拓扑一致。如果已有的两个

曲面有两个公共点，但两个公共顶点之间有裂缝，则两个曲面之间存在拓扑不一致，为了消除这种不一致，在选项 Option 中选择 2 Surface，Patran 通过重新创建的两个曲面消除裂缝,使得两个曲面拓扑一致。如果有三个相邻曲面，它们的交线呈“丁”字形，且相邻之间存在裂缝，则在选项 Option 中选择 Surface－Point 选项，通过指定三个面的公共点和一个曲面，重新创建该曲面，以消除裂痕。需要说明的是，这里裂痕的尺寸非常的小，一般小于 Patran 中全局模型公差的 10 倍。

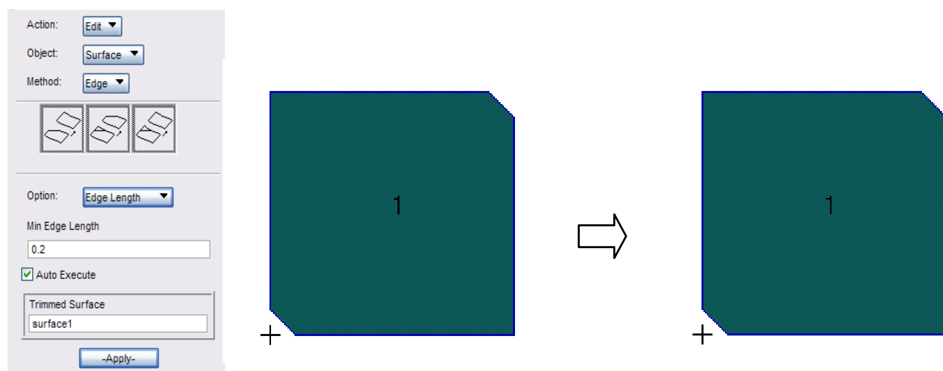


图 3-87　编辑曲面的边

• Extend 方法：　延伸曲面。如图 3-88 所示，延伸曲面的方式共有 7 种，第一种是同时延伸两个曲面到它们相交位置；第二种是，延伸曲面到一个平面，要指定要延伸的曲面，以及终止平面；第三种是延伸一个曲面到一条曲线，要指定要延伸的曲线，以及终止曲线。第四种是按一定的百分比同时从相邻两条边延伸曲面；第五种是延伸一个曲面到另一个曲面；第六种是延伸曲面到指定的点；最后一种是以指定长度延伸曲面，右图示出的是将曲面延伸至一平面的情形。

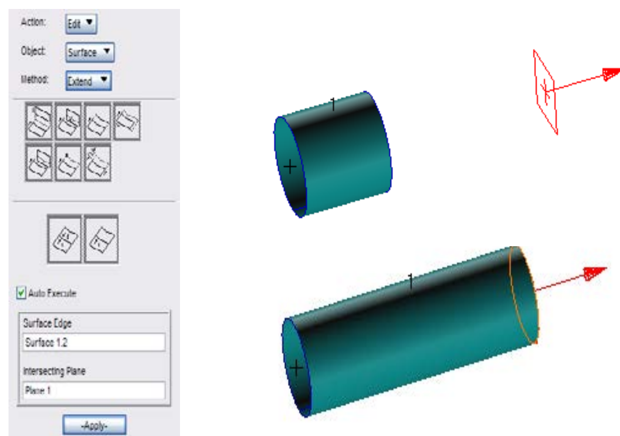


图 3-88　延伸曲面

• Refit 方法：　当从 CAD 读入一个模型或者用平面切割几何时，有时会产生高阶曲面，这些高阶曲面的存在严重影响了网格划分，使用 Refit 方法根据已有的曲面创建三次曲面，即用三次曲面来近似高阶几何曲面。

• Reverse 方法：　翻转曲面的法向方向，需要说明的是，可以选择是否翻转与曲面相联系的单元的方向。

• Sew 方法：与 Edit/Point/Equivalence 方法相结合，可以消除曲面的重复顶点，与 Edit/Surface/Edge 方法相结合，可以消除曲面的重复边界。

• Subtract 方法：如图 3-89 所示，从 B 曲面上减去 A 曲面，右图示出的是从 1 平面减去 2 平面的情形。

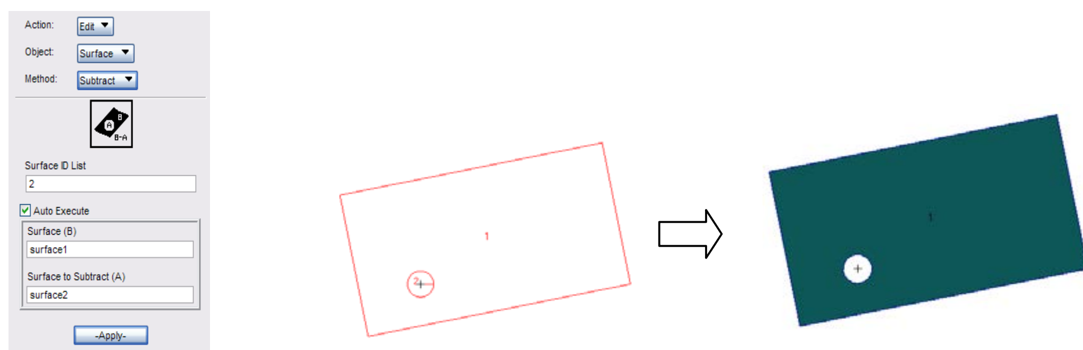


图 3-89　曲面相减

• Trim 方法：以给定的边来裁剪曲面，如图 3-90 所示，可以看到裁剪前后曲面变化。

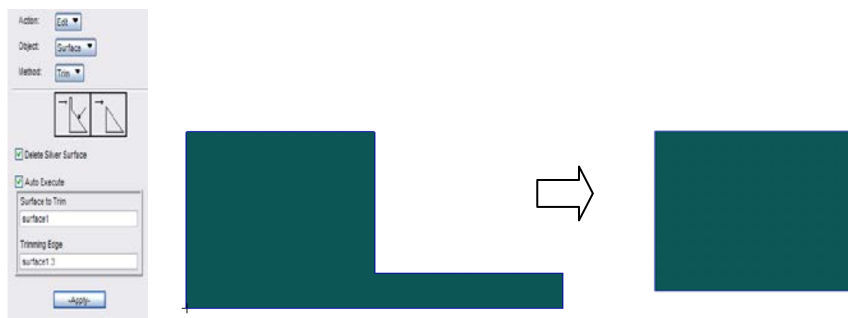


图 3-90　裁剪曲面

• Fillet 方法：　对曲面导圆角。需要指定曲面的顶点和要导的圆角的半径。

• Add hole 方法：　在曲面上挖孔。如图 3-91 所示，Option 选项中共有三种选择，选择 Center Point 是指定点作为圆心、同时指定半径，以圆柱正投影的形式在面上挖孔，需要说明的是指定的点可以不在曲面上；选择 Project Vector 是以给定的点、半径和矢量方向，以圆柱投影的形式挖孔。选择 Inner Loop 是选择任意封闭的曲线向曲面正投影挖孔。

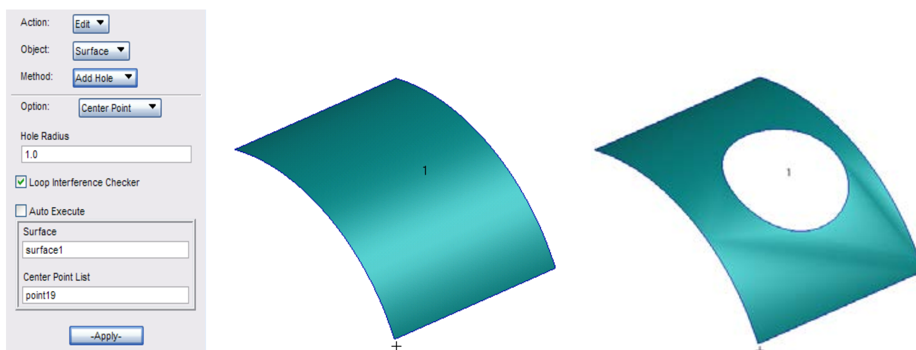


图 3-91　在曲面上挖孔

• Add Vertex 方法：　给曲面增加顶点，需要说明的是在操作之前曲面的边界上应该有

合适的点存在。

- Remove Hole 方法：　与 Add Hole 互逆。
- Remove Vertex 方法：与 Add Vertex 互逆。

3.4.4　编辑实体

• Break 方法：根据给定的条件分割实体，在 Option 按钮对应选项共有 4 组。选择 Point 时，用给定点来分割实体，需要说明的是，如果点的位置在实体边界上，则过点的平面将实体分割成两部分，如果点在实体的表面，过点的两个正交平面将实体分割成 4 部分，如果点在实体的内部，则过点的三个正交平面将实体分成 8 部分；选择 Parametric 选项时，根据指定的实体的局部坐标来分割实体；选择 Plane 时，根据指定的平面将实体分割；选择 Surface 时，根据指定的曲面将实体分割，图 3-92 所示为用点分割实体。

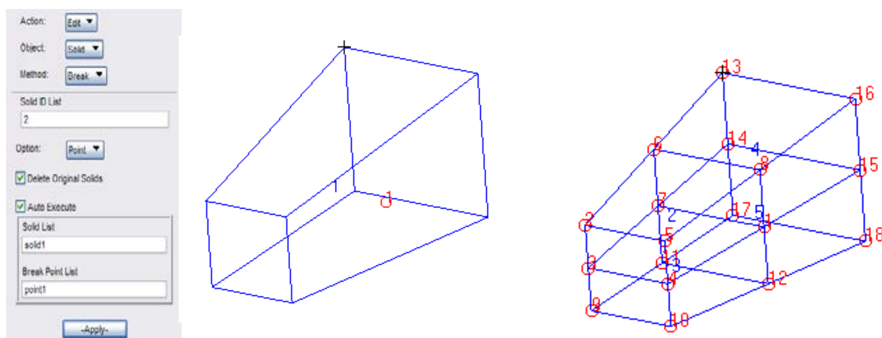


图 3-92　分割实体

• Blend 方法：　根据一组实体生成新的实体，同时可以对原实体的连接部分做平滑处理，其中，通过 Weighting Factors 选项来控制平滑处理的过程。

• Disassemble 方法：　将由 Create/Solid/B-rep 方法创建的实体拆分成组成它的原来的曲面。

• Edge Blend 方法：　对实体倒角。如图 3-93 所示，可以对实体倒圆角和直角，同时可以选择对实体的一个边、实体一个面上的边还是实体所有的边倒角。选择倒圆角时只需要输入一个半径值即可，选择倒直角时要输入一个长度值和方向值，图 3-94 示出的是对实体一个面倒圆角和倒直角的情形。需要说明的是，对实体所有的边倒角可以生成一个多面体，原来的顶点被倒成一个三角形面。

- Refit 方法：　将实体中高阶部分用三阶实体来近似表示。
- Reverse 方法：　改变实体自然坐标的方向。
- Boolean 方法：　实体间进行布尔运算。

• Imprint 方法：将第一个实体和第二个实体相交形成的曲线，印到第二个实体的表面，在实体的表面形成一条曲线。需要说明的是，两个实体之间可以是相接触或者相嵌，参见图 3-95 所示。

• Shell 方法：对实体抽壳。将实体内部抽空形成一个壳体，壳体厚度由用户输入。

参见图 3-96 所示。

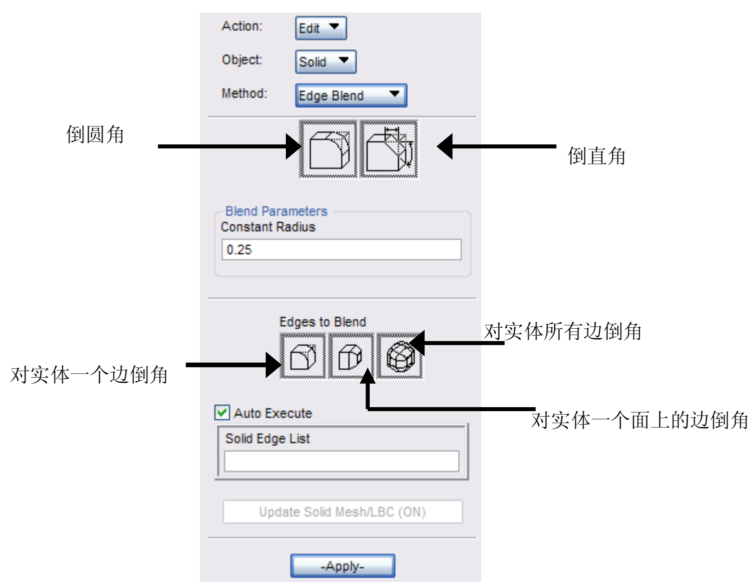


图 3-93　对实体倒角

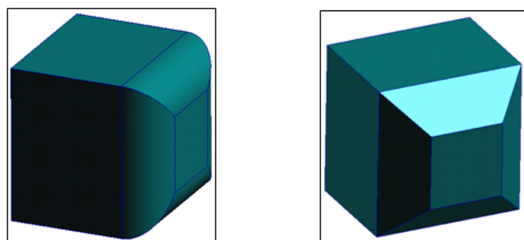


图 3-94　对一个面上的边倒圆角和直角

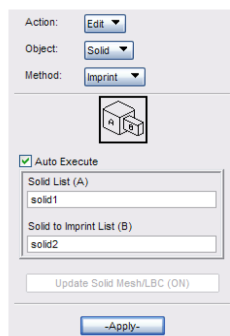




图 3-95　创建接触印记　　　　　　　　图 3-96　对实体抽壳

3.5　其他几何操作

对于几何建模来说，仅有前面介绍的创建和编辑是远远不够的，还会用到一些常用的其他几何操作，比如复制、镜像、显示几何信息等，下面将简介一下这些常用的操作。

3.5.1　删除功能

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，单击（Action>Delete）按钮，打开删除信息的面板，删除的对象包括点、曲线、曲面、实体、坐标系、平面和矢量。

3.5.2　信息显示

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，单击(Action>Show)按钮，打开显示信息的面板，在这里可以帮助用户随时了解各种对象的几何信息，比如位置、尺寸、方向等。Show 的对象涵盖所有的几何元素如表 3-2 所示。

表 3-2　Patran 信息显示功能

对 象	Info	说　　明
Point	Distance	显示点到点、曲线、曲面、平面、矢量的距离
	Location	显示点的坐标
	Node	显示节点的标号
Curve	Attribute	显示曲线的属性
	Arc	显示模型中圆弧的数量、当前组中圆弧的总数和几何建模公差
	Angle	显示两曲线间的夹角
	Length	显示在给定的最小长度和最大长度之间的曲线的起始点、长度和类型
	Node	显示曲线上节点的标号
Surface	Attributes	显示曲面的属性
	Area Range	显示在给定的面积范围内，曲面的面积、几何类型以及与曲面相关的顶点和边
	Node	显示曲面上节点的标号
	Normal	显示曲面的法向矢量
Solid	Attributes	显示实体的属性
Coord	Attribute	显示坐标系的属性
Plane	Attribute	显示平面的属性
Vector	Attributes	显示矢量的属性

3.5.3　检查几何模型

Verify 按钮 (Action>Verify)的作用是检查曲面的自由边和检查是否出现重复曲面，检查实体的边界。检查时边界以高亮度显示，同时，用相应的图形显示出来，比如空心圆、实心圆等，如图 3-97 所示。这样可以为建立良好的有限元模型打好基础。

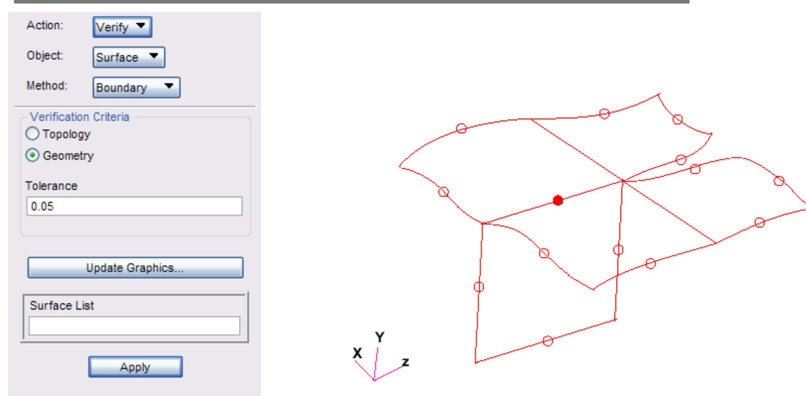


图 3-97　检查曲面的边

3.5.4　关联

Associate 按钮 (Action>Associate)的作用是将点定义为曲面或者曲线上的点或者将线定义为曲面上的线。此类点在有限元网格划分中必定为有限元模型中的节点，被称为硬点；此类线在有限元网格划分时处于有限单元边界上的几何线，被成为硬线。关联的作用是为了网格划分时控制节点的分布，例如，需要在曲线内部的某点施加载荷，那么就先在该位置处创建一个点，并通过 Associate 将点关联到曲面上，划分网格时，就可以准确地在该点生成一个节点。再如，两个曲面呈“丁”字形对接时，也需要将作为交线的曲面 A 的点关联到曲面 B 上，使得在划分网格时，两曲面上相邻单元的节点都在该交线上。

3.5.5　反关联

Disassociate 按钮 （Action>Disassociate）的作用与 Associate 的作用刚好相反，即将关联的对象拆散，恢复其原貌。

3.5.6　重新标号

重新标号按钮 （Action>Renumber）用来对点、曲线、曲面、实体、平面和矢量进行重新标号。

3.6　应用实例

本节将通过几个实例练习一下 Patran 建模的具体功能和方法。

3.6.1　圆顶凸台建模实例

1．创建一立方体

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，单击按钮,选择 XYZ (Action>Create,Object>Solid, Method>XYZ),在 Vector Coordinates List 中，输入<1 1 1>, 如图 3-98 所示，单击 Apply 按钮，再单击 Home>按钮，生成如图 3-99 所示的实体。

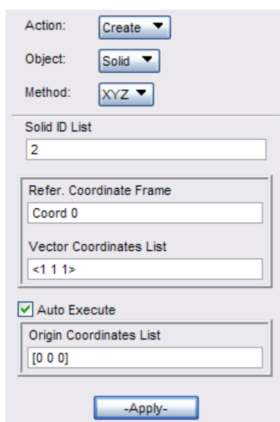


图 3-98　创建实体面板

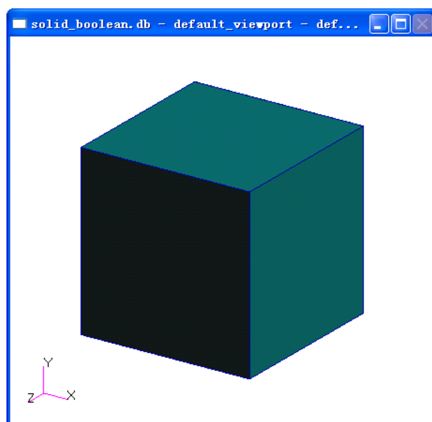
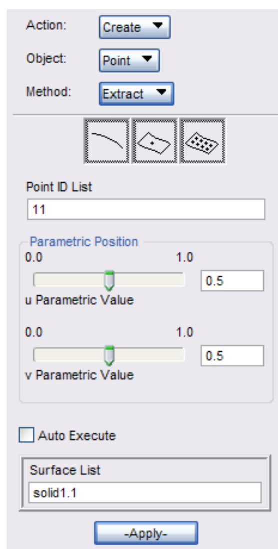


图 3-99　生成的三维实体

2．在实体表面中心创建点

单击按钮，选择 Extract(Action>Create，Object>Point，Method>Extract)，选择 Single Surface 图标，在 Surface List 中选择 Solid1.2 单击 Apply 按钮，在平行的平面上重复以上操作，选择 Solid 1.1，单击 Apply 按钮，参见图 3-100。



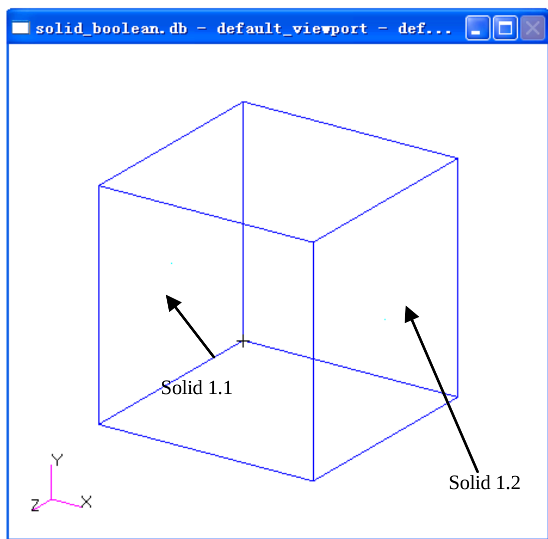


图 3-100　在指定表面中心创建点

3．显示点的标号

单击按钮，显示点的标号，单击 Display 菜单下的 Geometry 菜单，如图 3-101 所示。

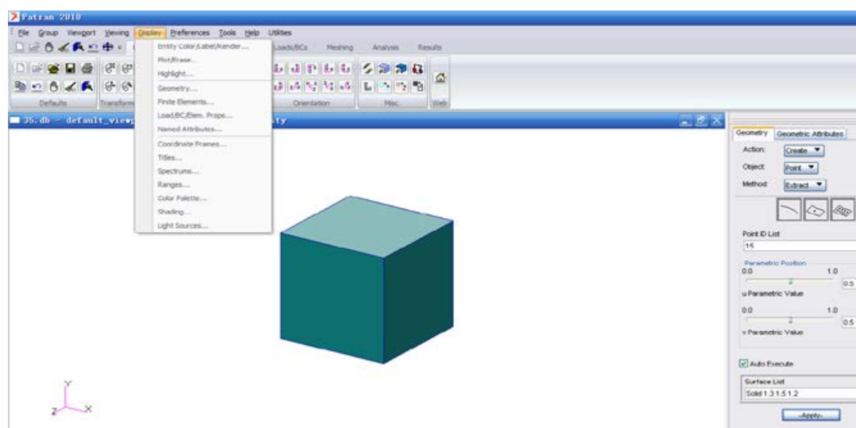


图 3-101　打开几何实体属性设置面板

打开如图 3-102 所示的几何属性设置面板，更改 Point 的颜色，增大 Point 的大小，单击 Apply 按钮，显示模型如图 3-103 所示。

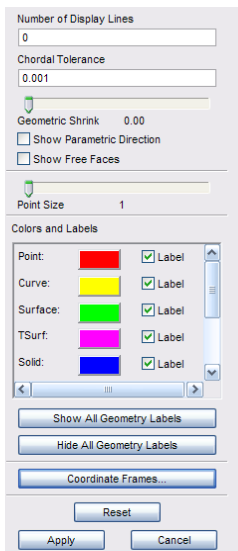


图 3-102 几何实体属性设置

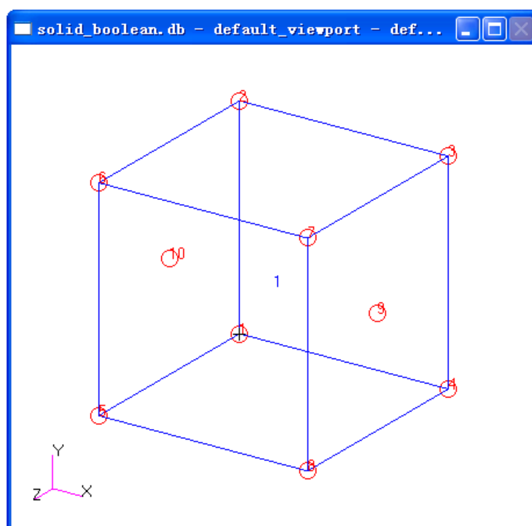


图 3-103　显示几何实体

4．在一个实体表面创建球面

单击按钮，选择 Primitive(Action>Create,Object>Solid,Method>Primitive)，选择创建球体图标，在操作面板区 Radius List 中输入 0.5，在 Center Point List 中选择 Point 9，单击 Axis List 选项框，选择（Base and tip Points）按钮，选择在实体表面中心的两个点 Point9 和 Point 10，单击 Apply 按钮，如图 3-104 所示，生成的模型如图 3-105 所示。

5．进行布尔运算

单击按钮(Action>Edit,Object>Solid,Method>Boolean),选择 Add 按钮，在 Solid List 中选择 Solid 1 2，单击 Apply 按钮，如图 3-106 所示，单击按钮，生成的模型如图 3-107 所示。

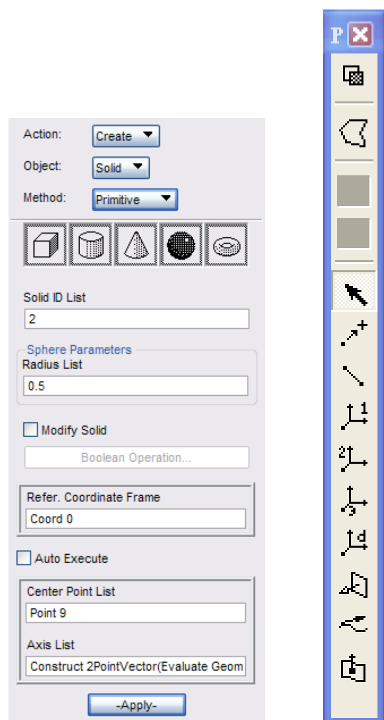


图 3-104　创建球体面板

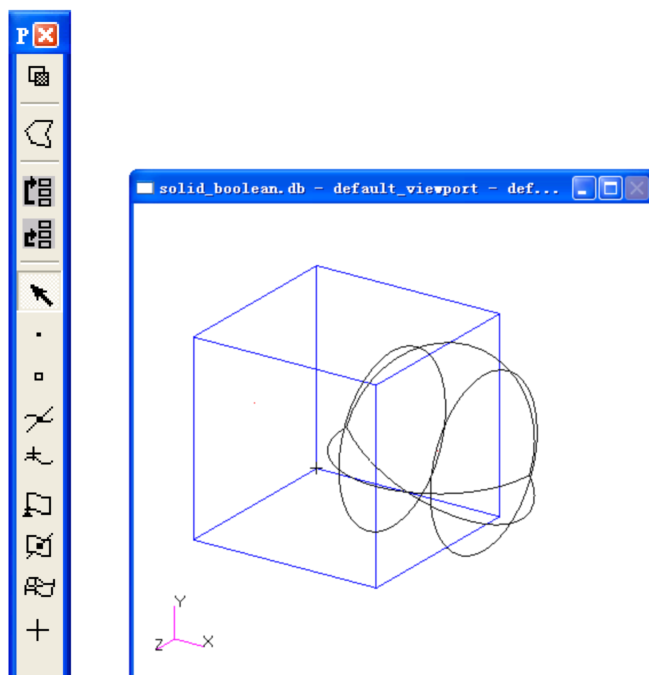


图 3-105　生成实体模型



图 3-106　布尔操作面板

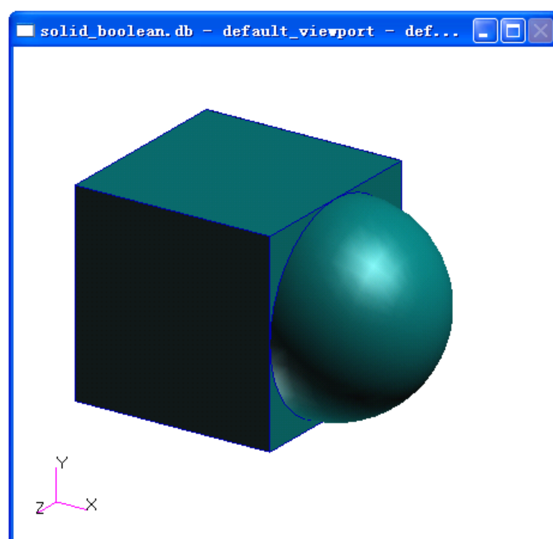


图 3-107　生成的几何模型

3.6.2　叉架建模实例

1．输入几何模型

单击 File>Import，打开输入文件面板，Object 选择 Model，Source 选择 IGES，如图

3-108 所示，单击 Anchor.igs 文件，单击 Apply 按钮，系统弹出输入文件信息，单击 OK 按钮确认，输入几何模型，单击图标改变模型的显示，如图 3-109 所示。

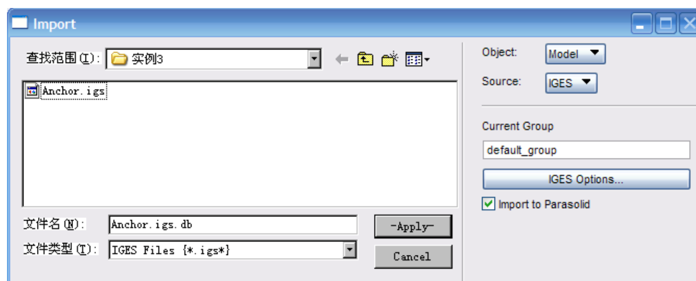


图 3-108　输入文件面板

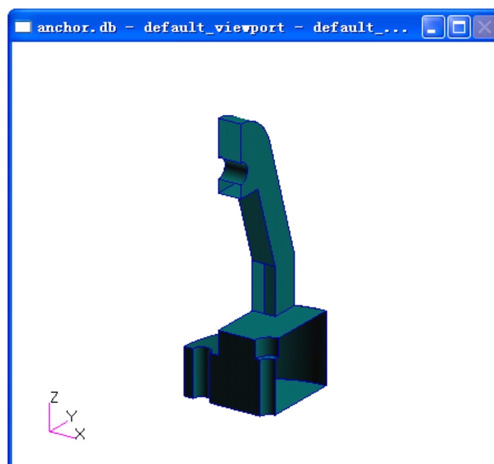


图 3-109 生成曲面面板

2．创建丢失的曲面

（1）旋转模型到适当的角度，单击按钮选择 Curve(Action>Create，Object>Surface，Method>Curve),Option> 2 Curve，如图 3-110 所示，在 Starting Curve List 和 Ending Curve List 输入框选择对应的曲线，单击 Apply 按钮，完成曲面的的创建。

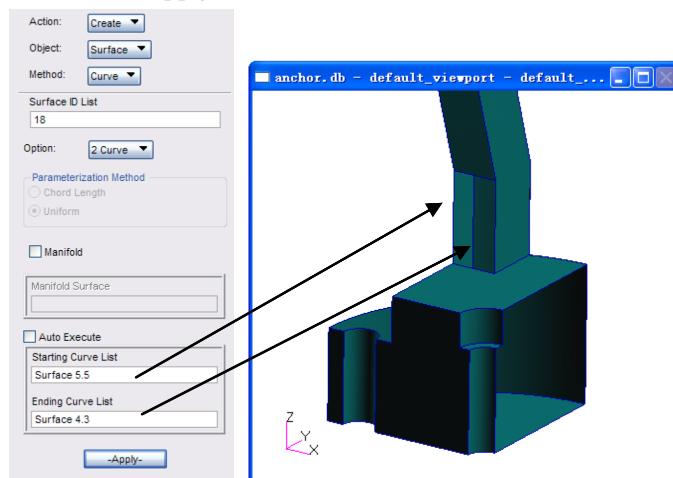


图 3-110　创建曲面

（2）使用裁剪方法创建曲面。首先创建复合曲线。单击按钮选择 TrimmedI(Action>Create,Object>Surface, Method> Trimmed)，Option 选项选择 Planar，单击 Auto Chain…按钮，弹出如图 3-111 所示的面板，在 Select Start Curve 输入框中，选择图示曲线，单击 Apply 按钮，Patran 会选择竖直的边作为下一条曲线，该曲线非要选择的曲线，单击 Next 按钮，选择另外一条曲线作为下一条曲线，如图 3-112 所示，单击 OK，重复以上操作，直到所选择的曲线围成一条封闭的曲线。

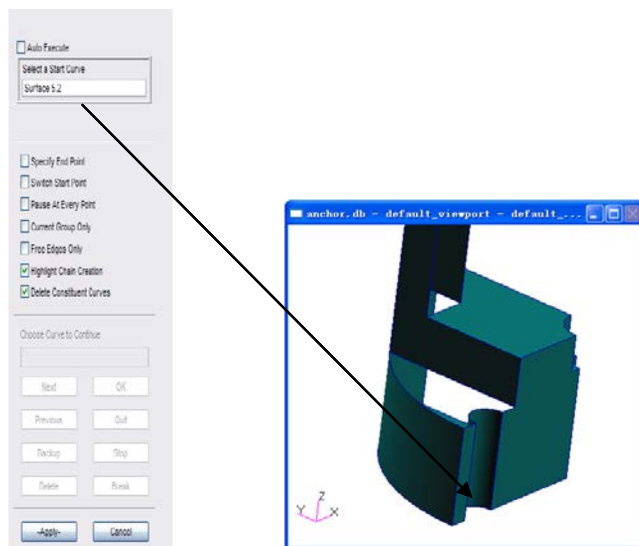


图 3-111　选择复合曲线的初始曲线

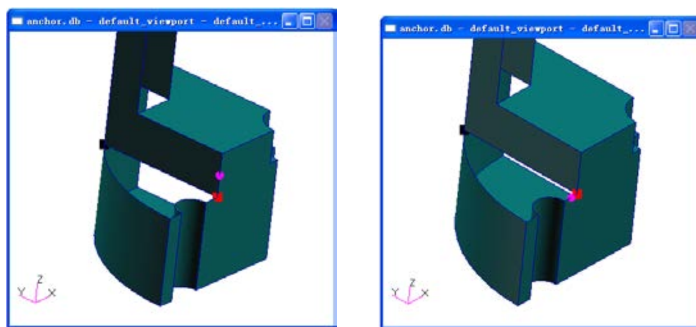


图 3-112　创建复合曲线

创建曲面。在 Outer Loop List 中选择上部创建的复合曲线，单击 Apply 按钮，生成曲面，如图 3-113 所示。

删除在创建实体过程中多余的曲面。单击按钮(Action>Delete)，Object>Any，在 Geometry Entity List 输入框中，选择图 3-114 所示曲面，单击 Apply 按钮，完成操作。

3．在圆弧中心创建点

单击按钮，选择 AcrCenter(Action>Create,Object>Point,Method>ArcCenter),在 Curve List 输入框中选择图 3-115 所示的圆弧，单击 Apply，完成在圆弧中心创建点。

4．创建坐标系

单击按钮，选择 3Point(Action>Create,Object>Coord,Method>3Point)，Type 选项选择

Cylindrical，在点输入对话框中，选择如图 3-116 所示的点，单击 Apply 按钮，完成创建坐标系。

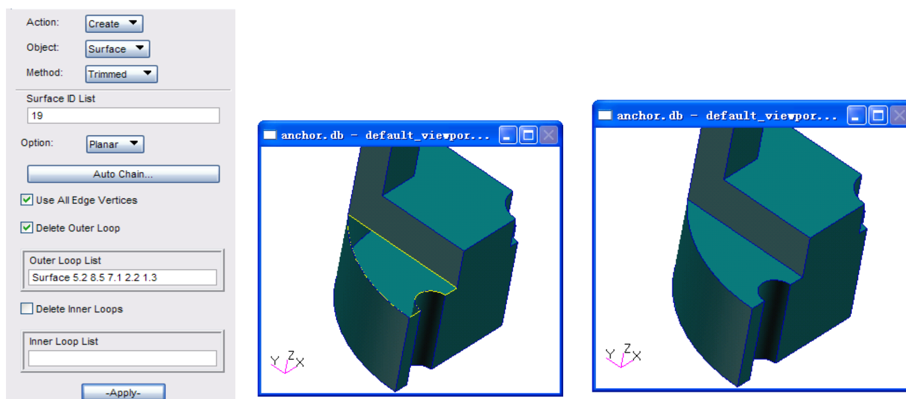


图 3-113　创建曲面

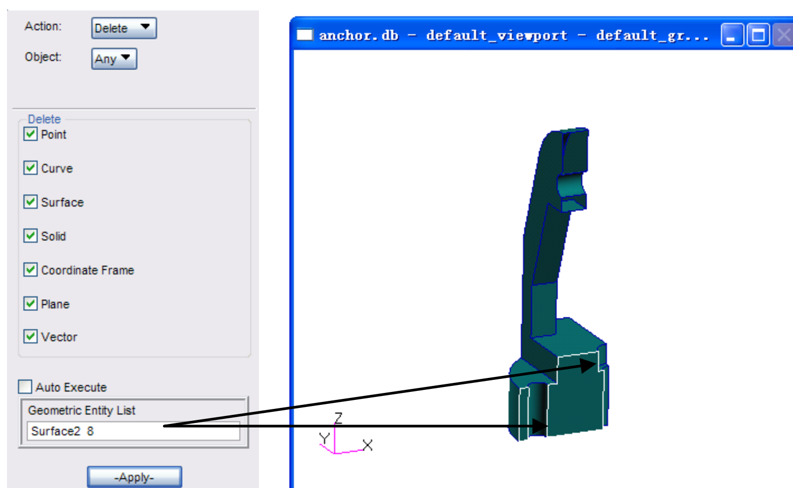


图 3-114　删除曲面

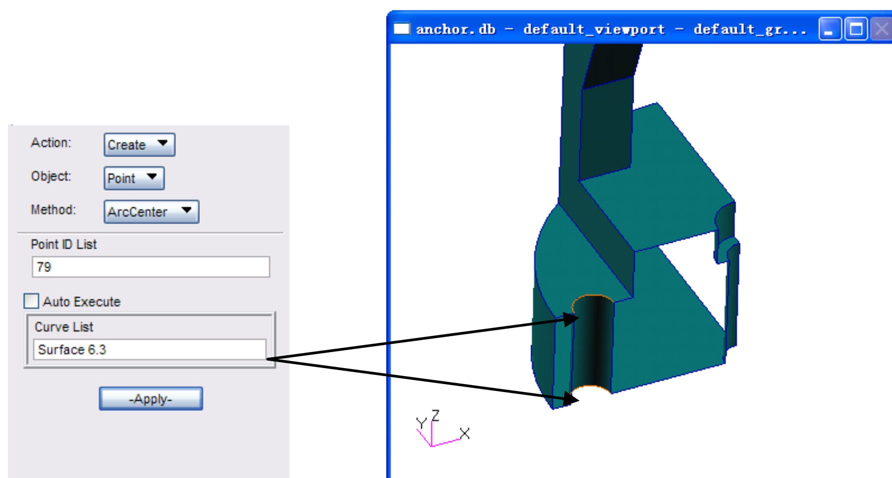


图 3-115 在圆弧中心创建点

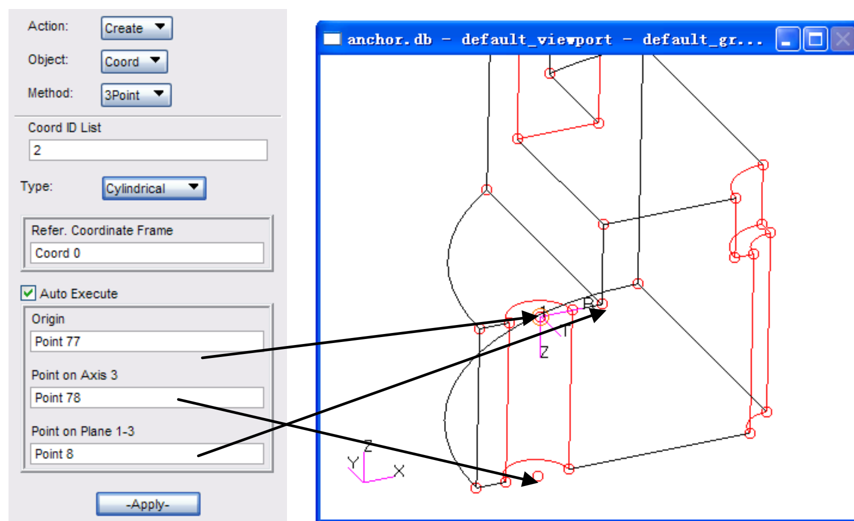


图 3-116　创建坐标系

5．创建曲线

单击 Transform 中按钮(Action>Transform,Object>Curve)，Method>Translate，在 Type of Transformation 选项中选择 Curvilinear in Refer. CF，在 Refer. Coordinate Frame 输入框中输入 Coord1， 在 Translation Vector 中输入<2 0 0>，如图 3-117 所示，然后在 Curve List 中选择图示中的曲线，单击 Apply 按钮，完成曲线创建。

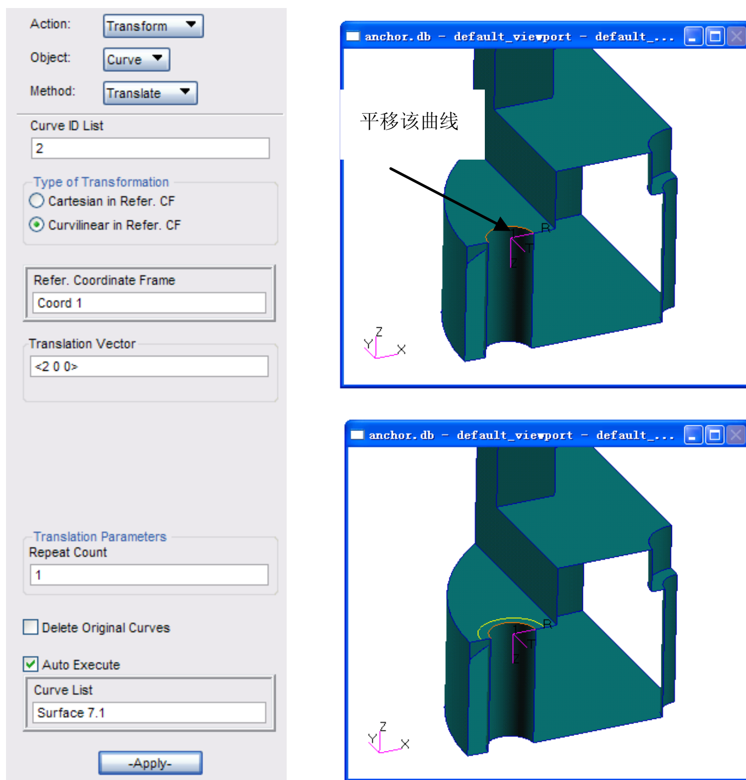


图 3-117　分割曲面

6．分割曲面

（1）单击按钮(Action>Edit)，Object>Surface，Method>Break，在 Option 选项中选择 Curve，用曲线分割曲面，在 Surface List 和 Curve List 中分别选择如图 3-118 所示的曲面和曲线，单击 Apply 按钮，系统弹出是否删除源曲面对话框，单击 Yes，完成曲面分割操作。

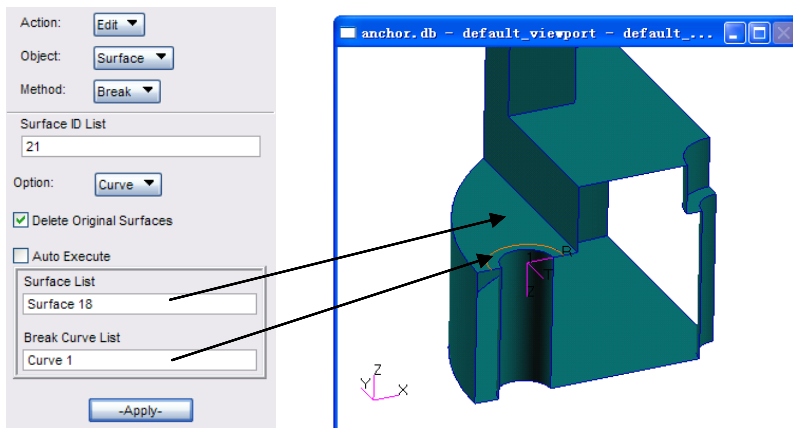


图 3-118　分割曲面

（2）单击按钮(Action>Edit)，Object>Surface，Method>Break,在 Option 选项中选择 Parametric，在 Break Direction 选项中选择 Constant v Direction，输入参数值为:0.5，如图 3-119 所示，在 Surface List 输入框中选择图示曲面，单击 Apply 按钮，系统弹出是否删除源曲面对话框，单击 Yes，完成曲面分割操作，该曲面将被水平分割。

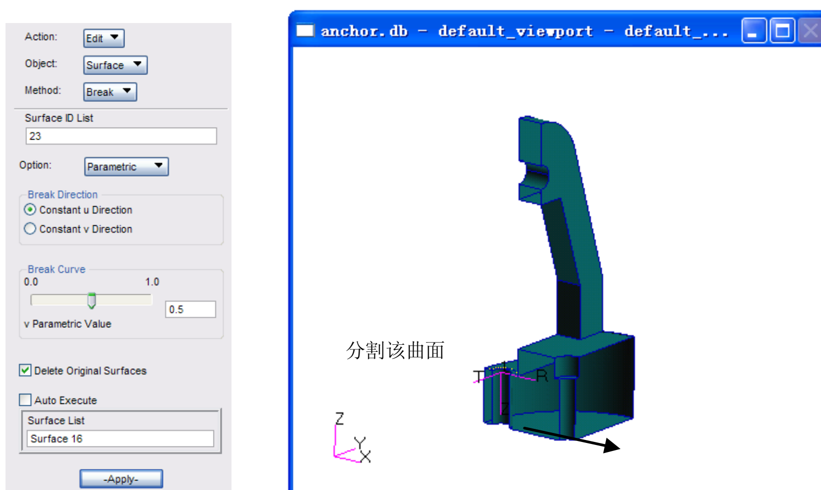


图 3-119　分割曲面

7．增加曲面顶点

单击按钮(Action>Edit)，Object>Surface，Method>Add Vertex，在 Surface 输入框和 Point List 输入框中，分别选择如图 3-120 所示的曲面和点，单击 Apply 按钮，完成增加顶点的操作；对另一个侧面进行相同的操作。

8．镜像曲面

单击 Home>图标，单击 Transform 中按钮(Action>Edit,Object>Surface)，Method>Mirror，如图 3-121 所示，在 Define Mirror Plane Normal 输入框中，选择图示三个点，不选

择 Delete Original Surface，在 Surface List 输入框中选择视图中所有的曲面，单击 Apply 按钮，完成曲面的镜像，此时，模型如图 3-122 所示。接着以图 3-122 所示的三个点为平面，对视图中的曲面镜像，得到如图 3-123 所示模型。

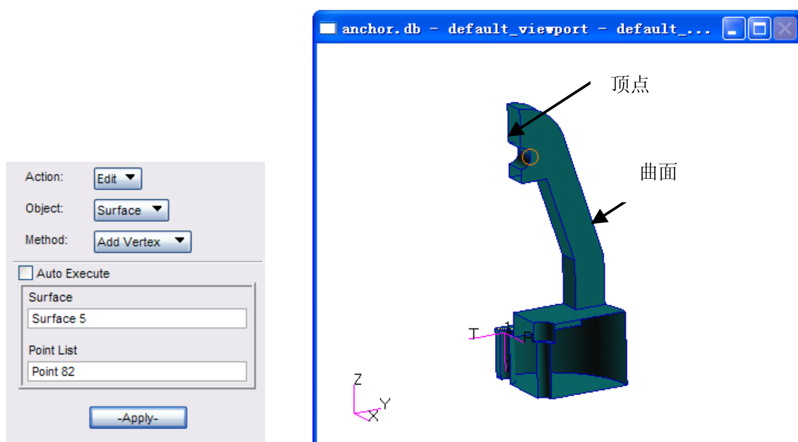


图 3-120　生成实体

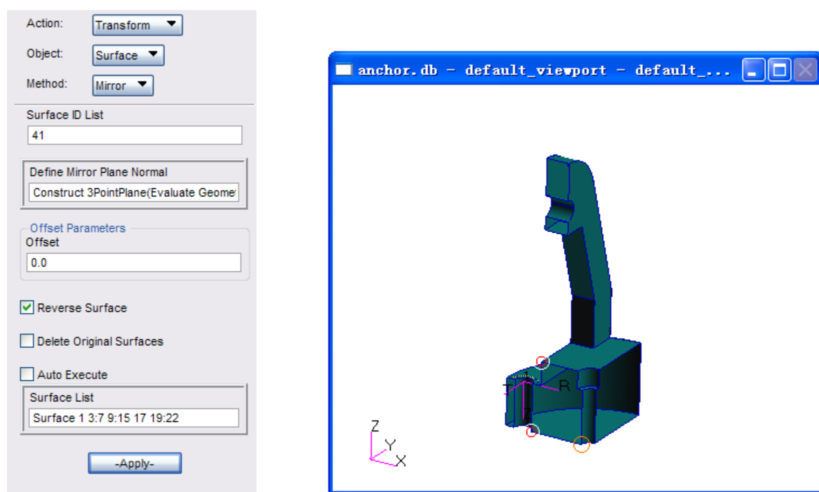


图 3-121　镜像曲面

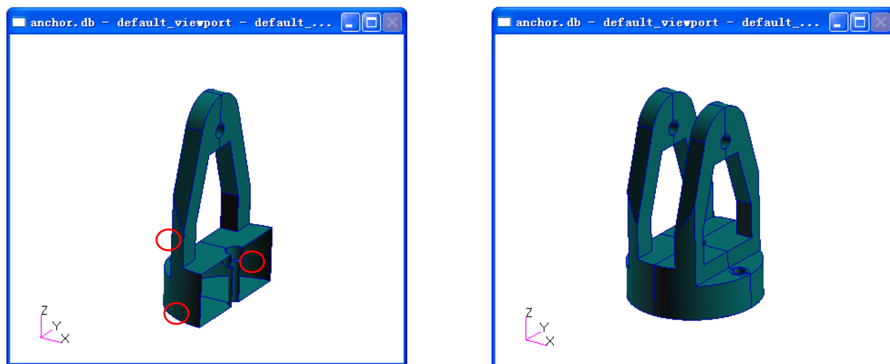


图 3-122　第一镜像后的模型　　　　图 3-123　第二次镜像后的模型

9．生成实体

单击按钮，选择 B-rep(Action>Create,Object>Solid,Method>B-rep)，如图 3-124 所示，在 Surface List 输入框中，选择视图中所有的曲面，单击 Apply 按钮，生成实体。

10．显示实体

单击 Home>图标，在 Select Entities 选项中，选择上面生成的实体，单击 Plot，显示生成的实体，参见图 3-125。

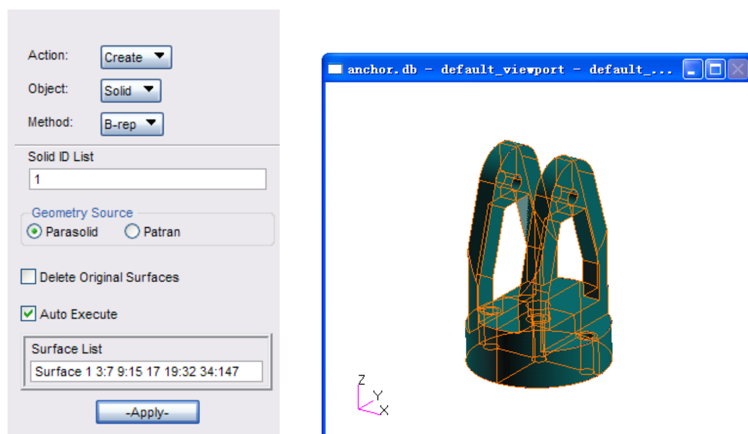


图 3-124　生成实体

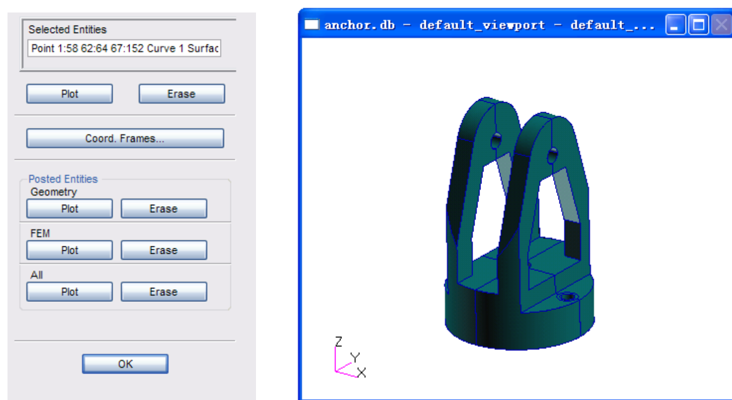


图 3-125　显示实体

3.7　托架线性静力分析全程实例——建模

本例作为基础知识部分一个全程跟踪实例，采用 Patran 自带的几何建模功能，建立支架的三维几何模型。涉及内容包括二维平面模型创建、二维模型拉伸为三维实体模型、实体抽壳、棱边倒角、布尔运算、打印痕等基本操作。在几何模型的基础上进行三维模型的网格划分、边界条件加载、求解分析和结果后处理等。本例的重点在于掌握 Patran 自身三维几何建模等功能。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件。

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\tension_fitting.db

（2）bdf 文件和结果文件：\tension_fitting.bdf

3.7.1　创建数据库模型

(1) 新建 Patran 空数据文件。点击菜单栏 File/New，输入数据库文件名 tension_fitting.db，点击 OK 按钮。

(2)在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Based on Model，Analysis Code=Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 退出页面。

3.7.2　创建二维平面图

本节将在二维模型平面图的基础上，采用拉伸的方法以生成三维实体模型，故而本节操作将首先创建二维平面图。

（1）点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 3-126 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Surface，Method=XYZ。

（2）如图 3-126 所示，在页面中部的 Vector Coordinates List 文本框中输入<5 2 0>。

（3）如图 3-126 所示，在 Origin Coordinates List 文本框中输入[0 0 0]，点击 Apply 按钮，得到如图 3-127 所示的平面矩形。

（4）点击图标，打开点显示方式。

（5）在如图 3-128 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Transform，Object=Point，Method=Translate。

（6）如图 3-128 所示，在页面中部的 Direction Vector 文本框中输入<0.5 0 0>。

（7）如图 3-128 所示，鼠标 Point List 点击文本框，采用鼠标左键点击平面左上角点，在图形区自动生成复制的几何点。

（8）按照同样的方法，在 Direction Vector 文本框中输入<0 0.5 0>，点击选择平面右下角点，自动生成复制的几何点。

（9）在如图 3-129 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Curve，Method=Point。在 Starting Point List 和 Ending Point List 中分别选择上述生成的两点。生成用于后续切分平面的直线段，得到如图 3-130 所示的平面模型。

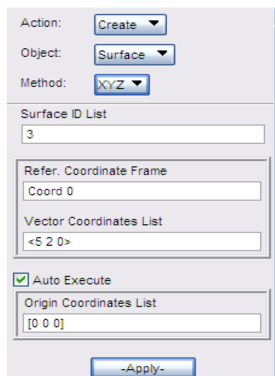


图 3-126　Geometry 页面 1

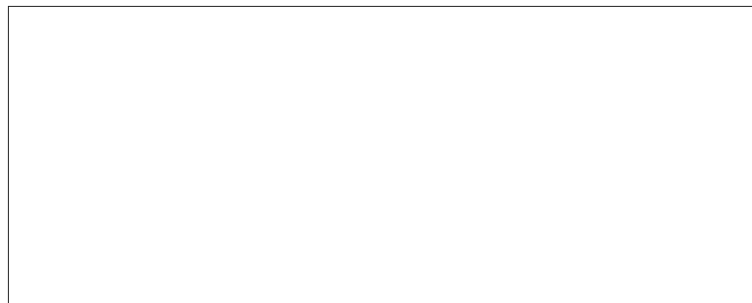


图 3-127　平面矩形

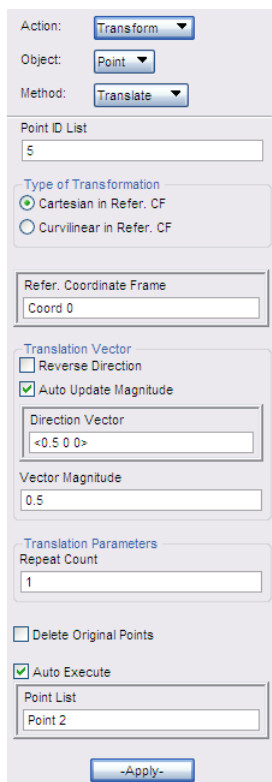


图 3-128　Geometry 页面 2

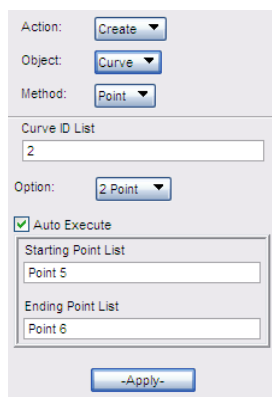


图 3-129　Geometry 页面 3

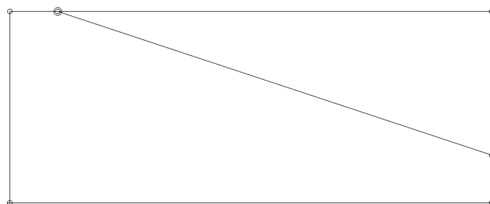


图 3-130　平面模型

（10）在如图 3-131 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Surface，Method=Break。

（11）如图 3-131 所示，在 Surface List 文本框中选取整个平面，在 Break Curve List 文本框中选取生成的直线。弹出 Message 对话框，提示是否删除原有平面，点击 Yes 按钮确定删除操作。

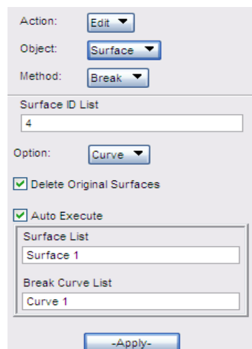


图 3-131　Geometry 页面 4

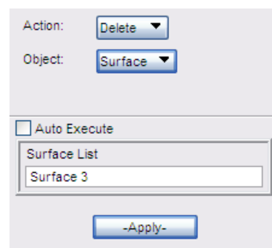


图 3-132　Geometry 页面 5

（12）在如图 3-132 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Delete，Object=Surface，勾选取消 Auto Ececute 选项。在 Surface List 文本框中选择右上角平面，点击 Apply 按钮以删除该表面。

3.7.3　创建三维实体

本节在二维平面图的基础上，通过拉伸命令生成三维实体模型，并对其进行实体抽壳操作。

（1）在如图 3-133 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Solid，Method=Extrude，确认 TetMeshable 图标处于选择状态。

（2）如图 3-133 所示，在 Translation Vector 文本框中输入<0 0 2>，在 Surface List 文本框中选择全部表面，自动生成三维实体。

（3）依次点击 Shade 图标和 图标，得到如图 3-134 所示的几何实体模型。

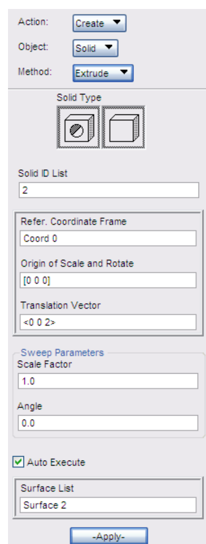


图 3-133　Geometry 页面 1

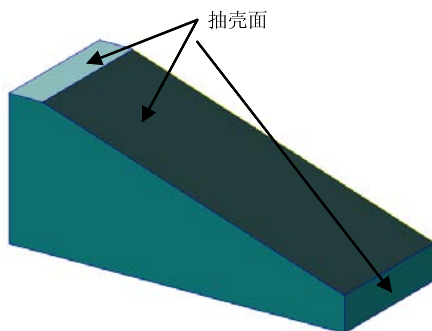


图 3-134　几何实体模型

（4）在如图 3-135 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Shell。

（5）如图 3-135 所示，勾选取消 Auto Execute 选项。在 Solid Face List 文本框中，选取顶面和侧面三个平面，点击 Apply 按钮生成如图 3-136 所示的几何实体模型。

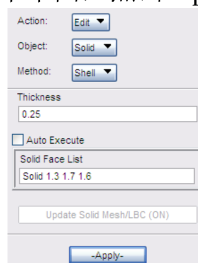


图 3-135　Geometry 页面 2

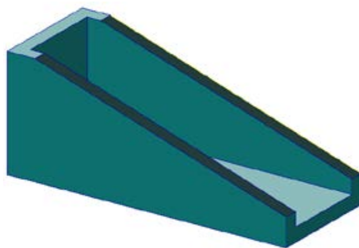


图 3-136　几何实体模型

（6）在如图 3-137 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Edge Blend。

（7）如图 3-137 所示，在 Constant Radius 文本框中输入数值 0.25，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Solid Edge List 文本框中，选择体内所有棱边，点击 Apply 按钮，得到如图 3-138 所示的几何实体模型。

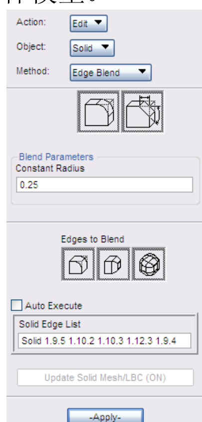


图 3-137　Geometry 页面 3

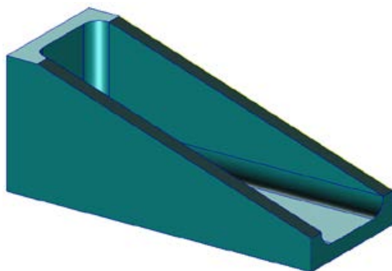


图 3-138　几何实体模型

3.7.4　创建切割实体模型

本节将利用 Patran 自带的基本体素创建功能，在侧壁创建圆柱体，通过布尔减运算功能，生成侧壁面上的孔洞。

（1）在如图 3-139 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Cteate，Object=Solid，Method=Primitive。

（2）如图 3-139 所示，点击页面上部的圆柱体图标。在 Height List 和 Radius List 文本框中分别输入数值 2.0 和 0.25。在 Base Center Point List 文本框中输入[-1 1.25 1]，在 Axis List 文本框中输入 Coord 0.1，点击 Apply 按钮生成圆柱体。

（3）在如图 3-140 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Boolean。

（4）如图 3-140 所示，选择 Subtract 按钮。在 Target Solid 和 Subtracting Solid List 文本框中依次选择 Solid 1 和 Solid 2，自动生成如图 3-141 所示的几何实体模型。

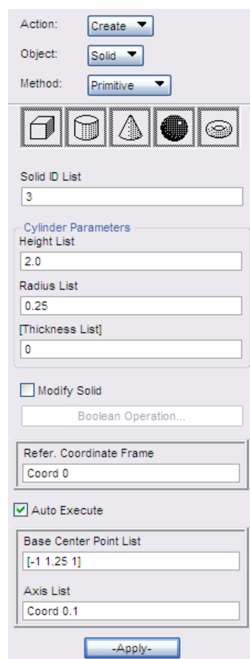


图 3-139　Geometry 页面

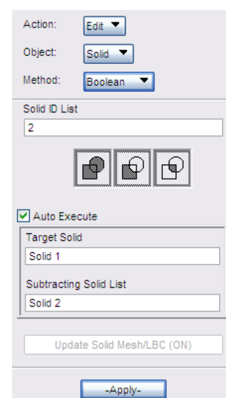


图 3-140　Geometry 页面

提示：在菜单栏 Home 中点击 wireframe 图标得到如图 3-141 所示的几何实体模型。

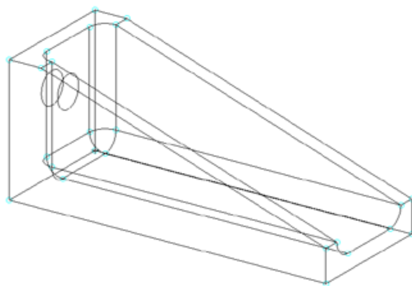


图 3-141　几何实体模型

3.7.5　创建底部圆孔

本节采用了上节类似的操作步骤和方法，创建底部圆孔。

（1）在如图 3-142 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Transform，Object=Point，Method=Translate。

（2）如图 3-142 所示，在 Direction Vector 文本框中输入<0 0 -0.5>，在 Point List 文本框中选择 Point 30。

（3）采用相同的方法，在 Direction Vector 文本框中输入<-0.75 0 0>，在 Point List 文本框中选择步骤(2)生成的点。

（4）采用相同的方法，在 Direction Vector 文本框中输入<-1.5 0 0>，在 Repeat Count 文本框中输入 2，在 Point List 文本框中选择步骤(3)生成的点。

（5）在如图 3-143 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Solid，Method=Primitive。

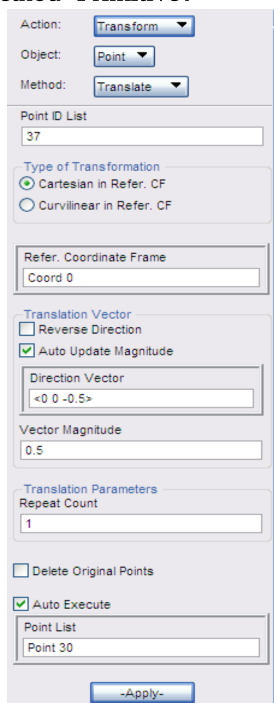


图 3-142　Geometry 页面 1

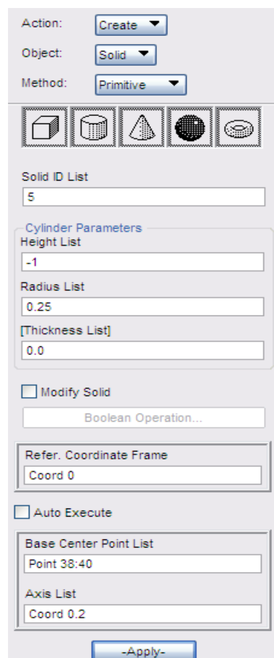


图 3-143　Geometry 页面 2

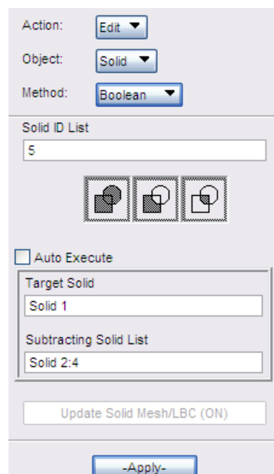


图 3-144　Geometry 页面 3

（6）如图 3-143 所示，点击圆柱体图标。在 Height List 和 Radius List 文本框中分别输入数值-1 和 0.25，勾选取消 Auto Execture 选项。在 Base Center Point List 文本框中依次选择上述生成的三点，在 Axis List 文本框中输入 Coord 0.2，点击 Apply 按钮生成三个圆柱体。

（7）在如图 3-144 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Boolean，勾选取消 Auto Execute 选项。在 Target Solid 和 Subtracting Solid List 文本框中依次选择 Solid 1 和 Solid 2:4，点击 Apply 按钮，生成如图 3-145 所示几何实体模型。

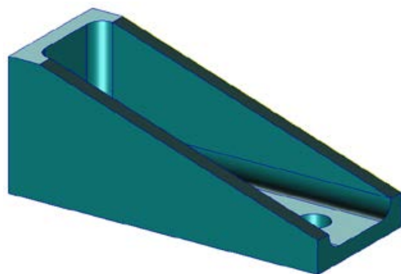


图 3-145　几何实体模型

3.7.6　打印痕

本节利用 Patran 中的打印痕功能，在几何模型上打印痕，即划分出相应的几何区域，从而方便后续步骤中的载荷施加。

(1) 点击线框模式图标进行线条显示。

(2) 在如图 3-146 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Point，Method=ArcCenter。

(3) 如图 3-146 所示，在 Curve List 中选择侧面内壁上的圆弧，自动生成中心点。

(4) 在如图 3-147 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Solid，Method=Primitive。

(5) 如图 3-147 所示，选择圆柱体图标，在 Height List 和 Radius List 文本框中分别输入数值 1.0 和 0.371。在 Base Center Point List 文本框中选择上述步骤生成的点，在 Axis List 文本框中输入 Coord 0.1。点击 Apply 按钮生成圆柱体。点击线框模式图标重新进行渲染实体显示，并观察模型。

(6) 重新点击线框模式图标进行线条显示。在如图 3-148 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Solid，Method=Primitive。

(7) 如图 3-148 所示，在页面中部选择圆柱体图标，在 Height List 和 Radius List 文本框中分别输入数值 0.5 和 0.298。在 Base Center Point List 文本框中选择底部中心点，在 Axis List 文本框中输入 Coord 0.2。点击 Apply 按钮生成如图 3-149 所示的 3 个小圆柱体。

（8）在如图 3-150 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Point，Method=ArcCenter。

（9）如图 3-150 所示，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Solid List(A)文本框中选择 Solid 1，在 Solid to Imprint List(B)文本框中选择 Solid 2:5，点击 Apply 按钮完成打印痕操作。

（10）在如图 3-151 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Delete，Object=Solid，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Solid List 中选择 Solid 2:5，点击 Apply 按钮以删除 4 个圆柱体。

提示：在 Wireframe 模式下，可观察模型上的几何印痕。

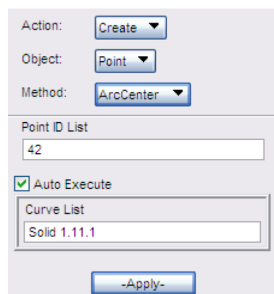


图 3-146　Geometry 页面 1

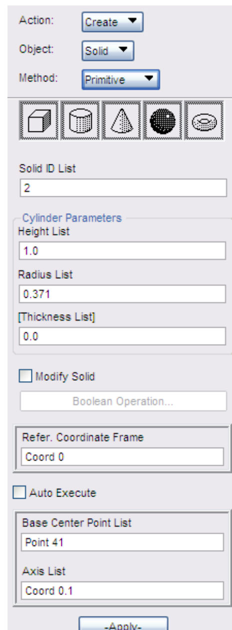


图 3-147　Geometry 页面 2

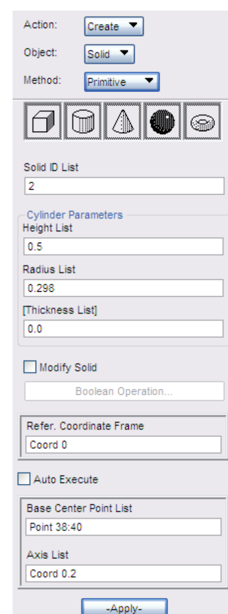


图 3-148　Geometry 页面 3

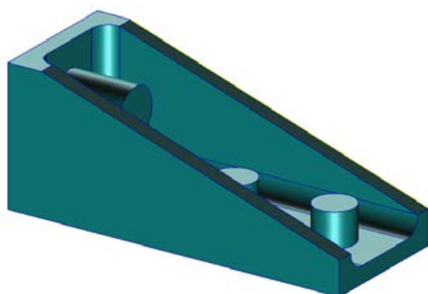


图 3-149　几何实体模型

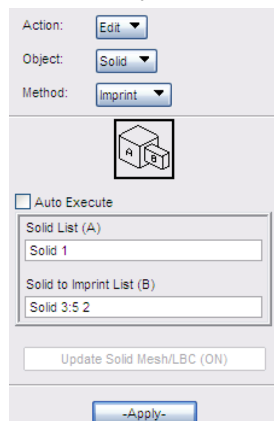


图 3-150　Geometry 页面 4

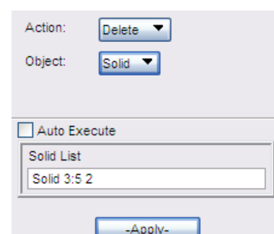


图 3-151　Geometry 页面 5

第 4 章　划分有限元网格

内容导航



划分有限元网格是进行有限元分析的基础，网格质量的好坏对有限元分析结果有很大的影响，Patran 有先进的网格划分技术，可以方便灵活地创建适用于不同精度的有限元网格。

通过本章的学习，读者可以掌握使用 Patran 直接创建有限元网格、转化创建有限元网格、以及编辑、修改、检查有限元网格等多种操作。

重点剖析

* 单元库
* 网格生成器
* 创建有限元网格的方法
* 检查编辑有限元网格

4.1　单元库简介

Patran 提供了较为丰富的单元库，从点、线、面到实体，都有相对应的单元形状和不同的拓扑形式，参见图 4-1。

下面具体介绍各种单元类型。

点单元（Point）：点单元通过节点来创建，其一般用于动态问题中集中质量的处理。在节点处创建点单元，然后将结构中该点处的集中质量赋予该点单元，这样，集中质量所代表的质量力就施加到了节点上。

梁/杆单元（Beam/Bar）：梁杆单元有 2 节点、3 节点和 4 节点三种拓扑形式（以“Bar”后跟一个表示节点数的数字表示，如 Bar2、Bar3、Bar4，其他形式的单元也类似），对应于线性的几何。从几何表达上讲，梁和杆是没有区别的，都用线来表示，但物理特性上来讲，两者是有区别的，所以，Patran 中将梁截面特性的定义放在了 Properties 部分。对于 3 节点和 4 节点的梁/杆单元，各节点将均匀的插入到单元中，以提高单元的表达精度。一般来说，在每种单元的端点或拐角位置，都有节点，以表征和维持单元的基本形状，例如杆单元的两个端点，三角形单元的三个顶点。

三角形单元（Tri）：三角形单元有 3 节点、4 节点、6 节点、7 节点、9 节点和 13 节点等形式，适用于曲面的网格划分。4 节点三角形单元的第 4 个节点位于三角形的中心；6

节点三角形单元的每一条边上有三个节点；7 节点三角形单元的的每条边上有三个节点，同时中心位置也有一个节点；9 节点三角形单元的每条边上 4 个节点；而 13 节点三角形单元的每条边上有 4 个节点，同时内部有 4 个节点。

四边形单元（Quad）：相对来说，四边形单元的精确度要高于三角形单元，但其适应能力较差，适合于较规则的曲面。四边形单元有 4 节点、5 节点、8 节点、9 节点、12 节点和 16 节点等形式，适用于曲面网格的划分。当单元节点多于 4 个时，其节点分布类似于三角形单元。

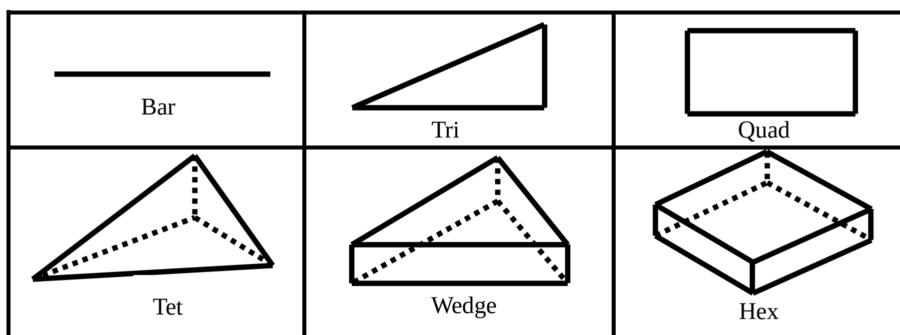


图 4-1 Patran 中的各种单元形状

四面体单体（Tet）：四面体单元适用于实体网格的划分，其有 4 节点、5 节点、10 节点、11 节点、14 节点、15 节点、16 节点和 40 节点等形式。5 节点的四面体单元其第 5 个节点位于四面体的中心部位；10 节点的四面体单元其每条边上有 3 个节点；11 节点的四面体单元除了每条边上有 3 个节点之外，其中心位置也有一个节点；14 节点的四面体单元每条边上有 3 个节点，同时每个面的中心位置也有一个节点；15 节点四面体单元的节点分布与 14 节点的单元类似，只是在单元体的中心位置有个节点；16 节点单元的每条边上有 4 个节点；40 节点四面体单元节点的分布比较复杂，其每个面上节点的分布类似于 Tri10，单元体的内部有 11 个节点。

五面体单元（Wedge）：五面体单元也就是楔形单元，其有 6 节点、7 节点、15 节点、16 节点、20 节点、21 节点、24 节点和 52 节点等类型。7 节点的五面体单元内部有一个节点；15 节点的五面体单元每条边上有 3 个节点；16 节点的五面体单元除了每条边上有 3 个节点之外，内部还有一个节点；20 节点五面体单元的节点分布是这样的，在两个三角形表面之间插入一个面，这个面上节点的分布类似于 Tri6，而两个三角形表面上节点的分布类似于 Tri7；21 节点五面体单元节点的分布类似于 Wedge20，只是单元中心多了一个节点；52 节点五面体单元节点的分布是这样的，在两个三角形表面之间插入两个三角形平面，总共四个三角形平面，每个三角形平面上节点的分布类似于 Tri13。

六面体单元（Hex）：六面体单元相对于四面体和五面体单元来说，适用性稍差，但其精度最高，适用于较规则实体的网格划分。六面体单元有 8 节点、9 节点、20 节点、21 节点、26 节点、27 节点、32 节点和 64 节点等类型。9 节点的六面体单元是在单元体的中心位置有一个节点；20 节点的六面体单元是每条边上有 3 个节点；21 节点的六面体单元体比 20 节点的单元体在中心位置多了一个节点；26 节点的六面体单元是每条边上有 3 个节

点，同时每个表面的中心位置还有一个节点；27 节点的六面体单元是在单元体中心位置比 26 节点的单元多了一个节点；32 节点的六面体单元是在每条边上有 4 个节点；64 节点的六面体单元是在两个相对四边形表面之间插入两个平面，这样就可得到准平行的 4 个四边形，这 4 个四边形平面中节点的分布类似于 Quad16。

4.2 直接创建有限元网格（Create）

4.2.1 网格生成器的分类

Patran 中的网格生成器共有三个：

IsoMesh（映射网格生成器）：可用于曲线、曲面和实体的网格划分，可以使用的单元类型有三角形、四边形、四面体、五面体和六面体，通过指定划分参数，可以对网格的划分进行严格的控制，甚至可以精确的控制每个节点的位置；但是，该网格生成器只适用于简单的、规则的几何。

Paver（自由网格生成器）：可用于划分任意曲面，自动以三角形和四边形划分网格，此时，对网格划分的控制不如“IsoMesh”强，可用“mesh seed”和“Global Length”来控制网格的密度，它能识别曲面上的硬点硬线。适合于复杂的曲面网格划分。

Hibrid：能对任何实体用四面体进行网格划分，可以通过“mesh seed”或曲率半径来控制网格的密度。

在实际应用中，对于不同的工程精度要求，以及同一项目的不同设计阶段，对分析结果的精确度是不同的，所需要的网格疏密程度也不同，比如在项目初期往往需要先了解一些大致的结果，此时对网格质量要求就相对比较低。对应于不同的网格生成器，可以用不同的方法来控制网格的疏密，下面一一介绍：

Mesh seed 方法：Mesh seed 是 ***Meshing*** 菜单下拉分级菜单中的一项，即“Create/Mesh Seed”，见图 4-2。用这种方法，可以在曲线上等距/不等距的撒下一些节点的种子，或是根据曲线的曲率半径来撒种（即指定一些点），将来划分网格时，将以这些点为基本节点。

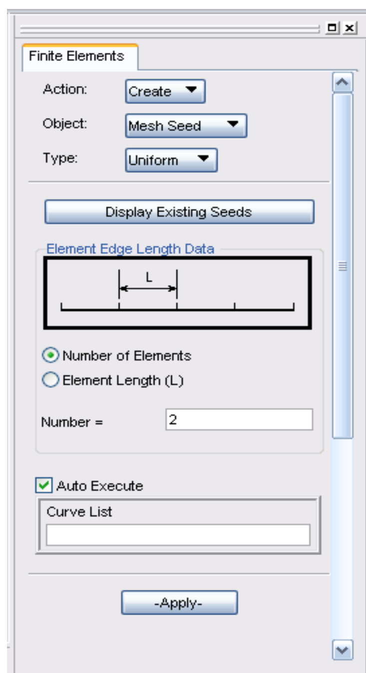


图 4-2 Mesh seed 面板

Mesh seed 对三种网格生成器均有效，创建 Mesh seed 方式的方法共有 6 种，分别是 Uniform, One way bias, Two way bias, Curv Based, Tabular 以及 PCL Function，详细说明见表 4-1。

Global Edge Length ：是面板上的一个控制选项，见图 4-3 所示，其优先级最低，也就是说当没有用其他方法

进行网格的疏密控制时，则由“Global Edge Length”的值来确定网格的大小，以控制网格的疏密。

表 4-1 Mesh Seed 的生成方法

图 标	名 称	简 介
	Uniform	在指定的曲线、曲面/实体的边上，根据给定的长度或单元总数来等距的生成 Mesh Seed。生成的 Mesh Seed 将以小黄圆表示，在之后的操作中，只有选定与其相关的操作时才会显示
	One way bias	在指定的曲线、曲面/实体的边上，以长度等比递增或递减的方式，根据给定的单元总数和长度比，或根据曲线的实际长度和长度比，生成 Mesh Seed。这里的长度比指由生成的 Mesh Seed 将曲线分割成的曲线段之中相邻两线段之间的长度比
	Two way bias	该方法类似于“One Way Bias”，只是从曲线的两头开始，生成的 Mesh Seed 将按长度对称分布
	Curv Based	在指定的曲线、曲面/实体的边上，由曲率控制生成 Mesh Seed。这里 Mesh Seed 的分布可以是等距或不等距的即将来生成的单元边长是相同或不相同的），由“Element Edge Length”指定。同时，通过指定弦高 h 或弦高 h 与弦长 l 的比值 h/l 来控制 Mesh Seed 的分布，也即控制网格的密度。或者，也可以通过指定“Min Length”和“Max Length”来控制网格的密度
	Tabular	在指定的曲线、曲面/实体的边上，根据表格描述的种子点的位置生成 Mesh Seed，若在“Coordinate Type”中选择“Arc Length”，则根据曲线上的弧长位置生成 Mesh Seed，在“Seed Location Data”项中输入位置坐标，该值的范围在 0～1 之间；若在“Coordinate Type”中选择“Parametric”，其与“Arc Length”类似，输入值是曲线的参数 u 的值；若在“Coordinate Type”中选择“Nodes or Points”，则在指定的节点或点的位置生成 Mesh Seed
	PCL Function	在指定的曲线、曲面/实体的边上，根据 PCL 函数定义的位置生成 Mesh Seed

Hard Geometry：硬几何即硬点和硬线，点镶嵌在曲面上，曲面镶嵌在点上，这样的点、曲线称为硬点、硬线。当需要在某个点的位置或者某条线上生成节点时，可指定该点或者该线为硬几何，这样就可以控制节点的生成，也是一种控制网格密度的方法。

Mesh Control：是一种控制曲面上单元尺寸的方法，位于 ***Meshing*** 面板上下拉式分级按钮菜单中，即“Create>Mesh Control”。Mesh Control 的界面通过指定曲面上单元的边长来控制网格的疏密。

除以上方法外，还有“Curvature Check”和“Max/Min Edge Length”方法，它们一般配合上边的方法使用。“Curvature Check”是根据曲率的大小来自动调整网格的疏密，即保证 h/l 小于设定的值，其中 h 是弦高，l 是弦长；“Max/Min Edge Length”方法是控制网

格的大小，使其所有边长都落在“Min Edge Length”和“Max Edge Length”之间。

4.2.2 几何协调性和有限元协调性

几何协调性是指不同的曲面/实体之间具有共同一致的边或面。如果两个几何是协调的，则在自动划分网格时，Patran 会使两几何在交界处的网格自动保持一致。如两个几何之间不一致，则直接划分网格会引起几何间单元网格的不一致，所以，应先将其消除掉。可以用几何的方法消除不一致，如 ***Geometry*** 中的“Create>Surface>Match”、“Create>Surface>Trimmed”、“Edit>Surface>Edge Match”，也可以用网格控制工具来确保网格一致，如硬几何或“Create>Mesh Seed>Tabular”等。

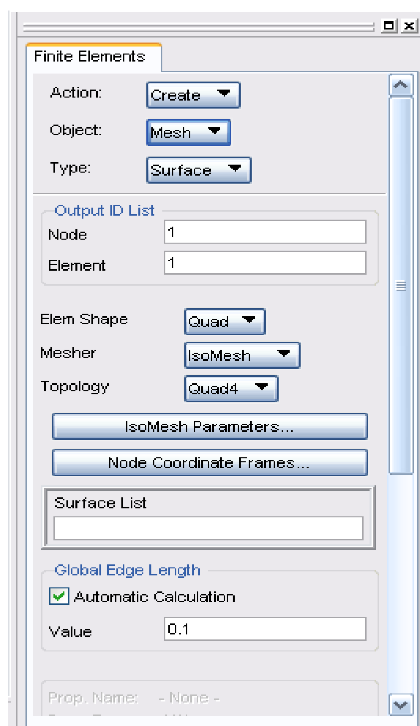


图 4-3 曲面网格划分面板

4.2.3 自动生成网格（mesh）

在“Create>Mesh”下的“Type”可以看到，可以直接对线、面、体进行网格划分。

- Curve：直接对曲线进行网格划分，单元的拓扑类型可选用 Bar2、Bar3、Bar4。
- 2 Curve：对由两条曲线围成的区域进行网格划分，单元可选用不同节点数的 Tri 单元和 Quad 单元，网格生成器可用“IsoMesh”。
- Surface：与“2 Curve”方法类似，只是既可以选用“IsoMesh”网格生成器，也可以选用“Paver”网格生成器。
- Solid：直接对实体进行网格划分，可选用的单元类型包括各种节点数的 Tet, Wedge 和 Hex 单元。对应于不同的单元类型，可选用不同的网格生成器，Tet, Wedge 和 Hex 三种单元形式都可以用“IsoMesh”来划分，Tet 也可以用“TetMesh”来划分。

4.2.4 手动生成网格

有时由于实际结构非常复杂，在局部需要做详细处理，或是要在特定的位置生成特定的节点或者单元，这就需要手工处理生成。

1．手工生成节点、单元

在 ***Meshing*** 下拉菜单 Create>Node 中直接输入点的坐标即可生成节点，同时，可以选择使生成的节点与几何相关。一般来说，生成的节点是为生成单元做准备的。在 Create>Elment 中可以直接生成单元，生成 Patran 所支持的各种形状和拓扑类型的单元，而

节点的输入可以选择已有的节点，也可以指定节点的坐标。节点的输入模式（pattern）有以下几种：“Standard”是输入节点的位置坐标来创建一个单元；“PWL”模式则是通过输入多个节点，顺序的建立多个单元；“Elem Edge”模式则是通过输入已有单元的边，来创建若干个单元。

2．创建超单元

单击 ***Meshing*** 的下拉菜单 Create>Superelement 中可以创建超单元，见图 4-4。当工程人员打算对现有结构件做局部修改和重分析时，超单元（Superelement）分析是求解大型问题一种十分有效的手段。超单元分析主要是通过把整体结构分化成很多小的子部件来进行分析，即将结构的特征矩阵（刚度、传导率、质量、比热、阻尼等）压缩成一组主自由度，类似于子结构方法，但较其相比具有更强的功能且更易于使用。超单元只适用于 Nastran 求解器。

在“Superelementlist”中是显示的是已有的超单元的名称。建立新的“Superelement”时，首先要在“Superelement name”中输入其名称，接着在“Element Definition Group”中定义相应的单元组，然后单击“Select Boundary node”选择建立超单元的边界节点，然后点击 Add、OK 按钮，最后点击 Apply 按钮完成创建。

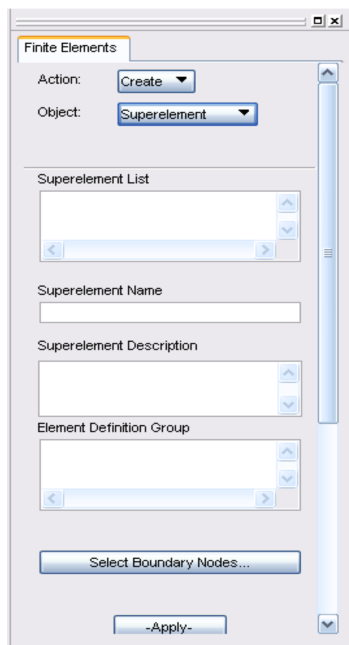


图 4-4　创建超单元的面板

4.2.5　创建多点约束（MPC）

在 ***Meshing*** 的下拉菜单 Create>Superelemet 中可以建立多点约束。多点约束（MPC，Multi-Point Constraint）是对节点的一种约束，即将某节点的依赖自由度定义为其他若干节点独立自由度的函数。例如，将节点 1 的 X 方向位移定义为节点 2、节点 3 和节点 4 的 X 方向位移的函数。多点约束常用于表征一些特定的物理现象，比如刚性连接、铰接、滑动等，多点约束也可用于不相容单元间的载荷传递，是一项重要的有限元建模技术。但是，建立明确的、能够正确描述各种现象的多点约束方程是非常不容易的。

对应于不同的分析求解器和分析类型，Patran 支持的多点约束类型是不同的。如在 Nastran 求解器中，对应了 12 种类型的多点约束。

4.3　转化创建有限元网格

在 Patran 中，也可以通过对已有网格进行操作生成新的网格，如 Translate（移动）、Rotate（旋转）、Mirror（镜像）、拉伸（Extrude）等。

4.3.1　移动、旋转和镜像创建节点/单元

在 ***Meshing*** 下拉菜单 Transform（变换）中，如图 4-5 所示，可以对节点和单元进行移动、旋转和镜像操作，从而生成新的节点和单元。

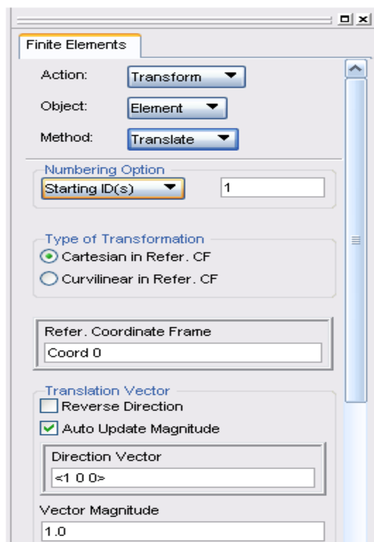


图 4-5　Transform 面板

对节点和单元的操作基本类似，在表 4-2 中加以说明。

表 4-2　Transform 的功能说明

方法（Method）	说　　明
平移（Translate）	将指定的节点/单元沿指定的方向移动给定的距离从而创建新的节点/单元。在“Type of Transformation”选项中可以选择移动操作的参考坐标系是直角坐标还是柱坐标系/球坐标系，移动的方向和距离由“Direction Vector”中指定的矢量来确定，而复制的次数由“repeat Count”参数来确定。原来的节点和单元可以选择保留或者删除
旋转（Rotate）	将指定的节点/单元绕指定的轴旋转给定的角度创建新的节点/单元。旋转轴在“Axis” 项中指定，在“Rotation Parameters”中可分别指定旋转角度、起始角度和重复次数。原来的节点和单元可以选择保留或者删除
镜像（Mirror）	将指定的节点/单元以指定的平面为对称面镜像生成新的节点/单元，这里的对称面由平面的法向矢量表示，在“Define Mirror Plane Normal”项中指定。同时可以设定对称面的偏移量和改变单元的法线方向。原来的节点和单元可以选择保留或者删除

4.3.2　拉伸、滑动创建单元

“Sweep”的作用对象是网格单元，通过对基网格进行拉伸、滑动，由低阶网格生成高阶网格，如由 1D 网格生成 2D 网格，由 2D 网格生成 3D 网格。

在 Sweep>Element 菜单中，可以看到 Sweep 对应的方法有 10 种，详见表 4-3。

表 4-3　Sweep 生成单元的方法

Method	说　明
Arc	将基单元绕指定的轴旋转一定角度，生成高一阶的单元。在该操作面板相应的文本框中，指定所在的坐标系、参考的旋转轴、要旋转的角度和起始旋转角度。打开“Sweep FEM Parameters”面板，设置基单元与新生成单元之间的关系，即由哪种单元经过“Sweep”后生成哪种单元。同时，可以打开 Mesh Control 面板，控制网格的疏密
Extrude	将基单元沿指定的矢量方向拉伸一段距离，生成高阶的新单元。在相应的文本框中输入参考坐标系、方向矢量、伸长或滑动距离、起始距离等，基单元可以选择保留或删除
Glide	将基单元沿指定的路径曲线滑动，生成新的单元。在面板相应的文本框中输入路径曲线，同时打开 Glide Control 面板，对“Glide”操作进行更进一步的控制
Glide－Glide	将基单元沿指定的路径滑动，生成新的单元。由于是两条路径曲线，所以在基单绕路径曲线滑动的同时旋转。同时可以打开 Glide－Glide Control 面板进行相应的控制。应当注意的是使用该方法时曲线路径的起点和终点应当与基单元相连接
Loft	将两组协调一致的 2D 单元连接起来，生成一组 3D 单元，应当注意的是基单元应协调，否则不能完成相应的操作
Normal	将单元沿各自的法线方向滑动指定的距离，生成新的单元
Radial Cylindrical	给定一个轴线和径向距离，将基单元沿该轴线的径向滑动，生成新单元
Radial Spherical	将基单元在球坐标系中以给定的距离沿径向滑动，生成新单元。这里的球坐标系，只给出了坐标原点，因为只用到一个球心
Spherical Theta	将基单元在定义的球坐标中以给定的角度沿经线方向旋转，生成新单元
Vector Field	预先定义矢量场，要求输入一个可以空间变化的矢量场，将基单元沿矢量场中各矢量的大小和方向拉伸或者滑动，生成新的单元

4.4　修改有限元网格模型

4.4.1　修改网格（mesh）

在 Modify>mesh>Type 面板下可以发现对网格的修改有三种类型，分别是：曲面（Surface）、实体（Solid）和缝合（Sew）。

□ 修改曲面（Surface）：根据选定的硬节点，通过相应的迭代算法，提高曲面上网格的平滑度。在 Hard node list 中选择硬节点，所谓的硬节点就是在选择一些节点在平滑的过程中位置保持不变，一般曲面边界上的点将被视为硬节点。打开参数设置面板 Parameter，见图 4-6，第一个参数的设置是用来控制 Laplacian 和 Isoparametric 两种光滑算法的使用比例，滑块在最左边时，只使用 Laplacian 算法，在最右边时，只使用 Isoparametric 算法；第二个参数是用来设置迭代次数，默认为 20；第三个参数设置光滑递增系数，该系数表征节点在每次迭代中所移动的距离，一般取值小于 0.1；第四个参数控制光滑结束的公差系数，即当前一次迭代中最大的移动距离小于该系数对应的值时，迭代结束。

□ 修改实体（solid）：该方法是提高实体网格的质量，控制面板如图 4-7 所示。这种方法只适用于由“Tet”类型的单元划分的网格。打开 Parameter 按钮对应的面板，相应的参数有优化单元区域的选择、几何与网格的相关性控制、硬节点的选择、输出信息控制等。打开 Process Control 按钮对应的控制面板可以进行迭代次数控制、单元质量控制等；Collapse Ratio 和 Jacobian Minimum 对应的面板用来设定迭代时与单元质量有关的参数，如单元的雅克比值、高斯点等。

□ 缝合（Sew）：通过自动的合并节点或分割三角形消除内部的自由边，缝合选定的三角形单元中存在的裂纹。“Target Element Edge Length”项用来确定网格的边长，裂纹的最大尺寸一般取作该长度的十分之一。

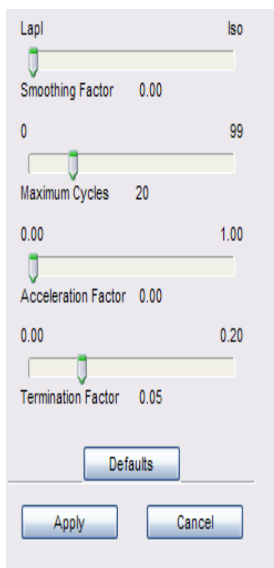


图 4-6　修改曲面的参数设置面板

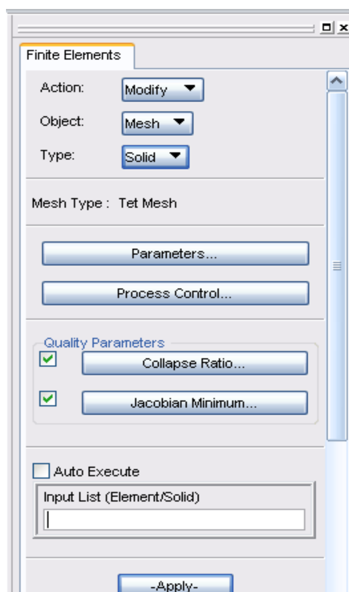


图 4-7　修改实体单元的面板

4.4.2　修改单元

对单元的编辑修改，包括单元号（ID）、单元类型（type）、相关性（Connectivity）、单元方向以及对单元进行再分割等。

Modify>Element>Edit 面板可以对改变单元的 ID、单元类型和节点的相关性等属性。

如果要选定“Element Attributes”中的“ID”项，则可以改变单元的 ID 号，在“Element List”中选定单元，在“New ID’s”中输入新的标号即可。

如果要改变单元的类型，则选定“Element Attributes”中的“Type”项。改变单元类型，不会改变单元型种，只会改变单元的节点数，例如，可以将 Tet4 单元变为 Tet10 单元。

如果选择“Connectivity”，可以改变与指定单元相关的节点。

Modify>Element>Reverse 面板可以改变单元的方向，使其与原来的方向相反。

Modify>Element>Separate 将选定的单元以给定的方式分割。分割的方式在“Option”对应的下拉式按钮菜单中选择，可以是在单元的节点、单元的边、单元的面、单元的自由边、单元的自由面处分割，“Keep Node Association”选项用来指定新生成的节点是否与几何相关。

4.4.3 修改梁/杆、三角形、四边形、四面体单元

对梁/杆、三角形、四边形、四面体单元的修改操纵只有一种就是分割（split）。对 bar 单元而讲就是将一个单元分成两个，对于三角形、四边形和四面体而言有不同的分割形式，如图 4-8～图 4-10 所示。

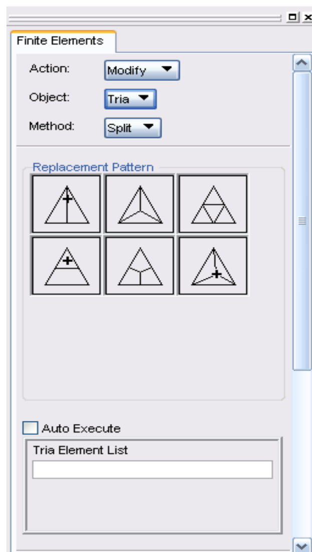


图 4-8 三角形的分割形式

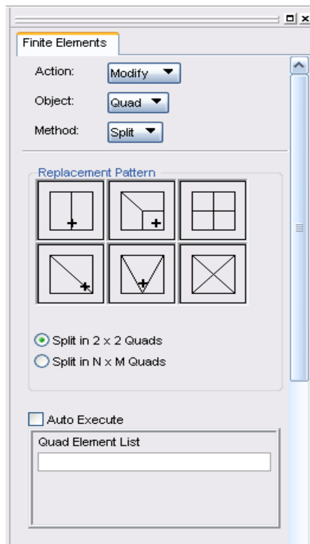


图 4-9 四边形的分割形式

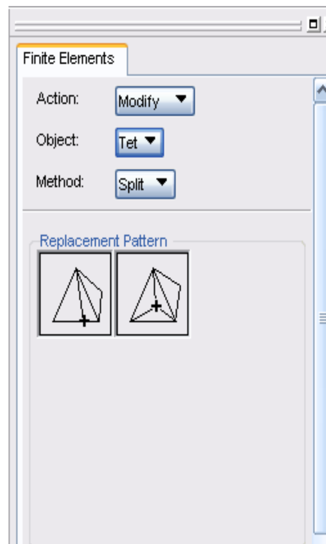


图 4-10 四面体的分割形式

4.4.4 修改节点

在 Meshing 的下拉菜单 Modify>Node 面板中，对节点修改的操作共有 4 种，分别是移动（Move）、偏移（offset）、编辑（edit）和投影（project）。在表 4-4 中将分别介绍。

表 4-4　修改节点操作简介

操　作	说　明
移动（Move）	将选定的节点移动到指定的位置，可以在 Node list 框中选定若干个节点，同时在 New Node Location 输入若干个位置坐标，一次移动若干个节点
偏移（offset）	根据矢量的方向和大小移动节点，移动的参考坐标系可以是迪卡尔坐标系，也可以是柱坐标系或球坐标系，先选定参考坐标系，在 Direction Vector 中输入方向矢量，选择 Reverse Vector Direction 实际移动方向为矢量的反方向。
编辑（edit）	修改节点的 ID、坐标系、位置等属性，在 Nodal Attributes 对话框中可以选一个，也可以同时选几个。
投影（project）	通过投影方式将节点移到曲线、曲面或平面上。投影的目标类型有三种，在 Project onto 按钮下来菜单下可以看到，分别是曲线（Curve）、曲面（surface）和平面（plane）。投影的方向有三种定义方式，在 Direction 按钮对应的下拉式按钮菜单中可以看到这三种方式分别是：Normal 方式，该方式以垂直于投影目标的方式将节点投影到目标上；Define Vector 方式，该方式通过定义矢量方向来投影移动节点；View Vector 方式，该方式是以当前视野方向矢量来投影移动节点。对应曲线而言，仅适用第一种方式。

4.4.5　修改网格种子

在这里可以对已经创建的网格种子（Mesh Seed）进行修改，修改的参数包括网格种子的密度、类型等。Select One Curve 选项选择需要进行网格种子修改的曲线，Type 项用来选择新生成网格的方法类型，详细说明参见表 4-1。

4.5　检查有限元网格

在划分网格时，往往会产生重复的节点，导致有限元模型不协调，将不能进行正确的分析运算。同时，网格划分好之后，应该对网格的质量进行检查，如果网格质量达不到要求，需要进行调整甚至重新划分。所以，对有限元模型进行检查是必要的。在 Patran 中用 Equivalence 合并重复的节点，用 Verify 命令用来对网格单元进行检查，在检查有限元模型时两者配合使用。下面分别介绍这两种命令的使用。

4.5.1　有限元网格检查（Verify）

在 patran 中可以检查多组单元参数，其对应的操纵面板如图 4-11 所示。

在 Test 按钮的下拉菜单中可以检查单元节点、边界的连接、单元的重复、单元法线方向、单元/节点的 ID 号等，详见表 4-5。

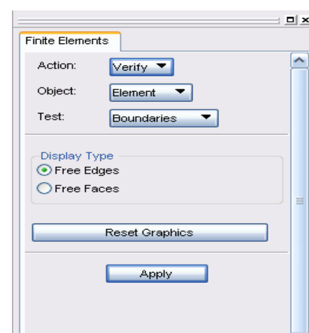


图 4-11　有限元网格检查面板

表 4-5 检查单元参数的说明

Test	简 介
Boundary	显示单元的自由边或者自由面
Duplicates	检查是否有重复单元出现，同时通过 Test control 选项可以选择仅仅显示重复单元，还是删除重复单元
Normals	显示相邻单元的法线方向，通过 Test control 选项可以选择仅仅显示单元的法线方向还是将选定的单元法线方向反向。
Connectivity	检查某单元是否出现副体积
Geometry fit	检查单元与其相关的几何之间是否具有合适的距离
Jacobian Ratio	报告单元雅克比行列式的值
ID’s	用不同的颜色显示不同的 ID

4.5.2 检查三角形单元的质量

在 Verify>Tri 面板下可以检查三角形单元的质量，在 test 按钮对应的选项中，共有三组选项供选择，分别是：

All：检查并报告所有与三角形单元有关的项。

Aspect：计算三角形单元的长宽比。

Skew：检查三角形单元的锥度。

检查 Tri 单元的报告如图 4-12 所示。

Tria Verification Summary

Test	Number Failed	Worst Case	At Element
Aspect	0	Max=1.7320517	7
Skew	0	Max=26.565071	16
Normal Offset	0	Max=0.	0
Tangent Offset	0	Max=0.	0
Jacobian Ratio	0	Max=1.	1

图 4-12 检查三角形单元质量

4.5.3 检查四边形单元的质量

在 Verify>Quad 面板下可以检查四边形单元的质量，在 test 按钮对应的选项中，共有 5 组选项供选择，分别是：

All：检查并报告所有与四边形形单元有关的项。

Aspect：计算四边形单元的长宽比。

Warp：检查四边形单元的翘曲度。

Skew：检查四边形单元的倾斜角。

Taper：检查四边形单元的锥角。

4.5.4 检查四面体单元的质量

在 Verify>Tet 面板下可以检查四面体单元的质量，在 test 按钮对应的选项中，共有 5 组选项供选择，分别是：

All：检查并报告所有与四面体单元有关的项。

Aspect：比较四面体的面积与其对应的底面面积平方根的比。

Edge Angel：计算四面体单元相邻面的最大偏差角。

Face Skew：检查四面体单元每个面的的倾斜角。

Collapse：将四面体体积小于门槛值的显示出来。

4.5.5 检查五面体单元的质量

在 Verify>Wedge 面板下可以检查五面体单元的质量，在 test 按钮对应的选项中，共有 7 组选项供选择，分别是：

All：检查并报告所有与五面体单元有关的项。

Aspect：计算五面体单元三角形表面的高与两个三角形面之间的距离的比值的最大。

Edge Angel：计算五面体单元相邻面的最大偏差角。

Face Skew：检查五面体单元每个面的的倾斜角。

Face Warp：检查五面体单元中每个四边形面的翘曲度。

Twist：计算两个相对的三角形表面的扭转角。

Face Taper：检查五面体单元四边形面的锥度。

4.5.6 检查六面体单元的质量

在 Verify>Hex 面板下可以检查六面体单元的质量，在 test 按钮对应的选项中，共有 7 组选项供选择，分别是：

All：检查并报告所有与六面体单元有关的项。

Aspect：计算六面体单元三角形表面的高与两个三角形面之间的距离的比值的最大。

Edge Angel：计算六面体单元中相对面最大与最小距离比。

Face Skew：检查六面体单元每个面的的倾斜角。

Face Warp：检查六面体单元中每个四边形面的翘曲度。

Twist：计算两个相对的四边形表面的扭转角。

Face Taper：检查六面体单元中四边形面的锥度。

4.5.7 检查节点

在 Verify>Node 面板下可以对有限元网格中的节点进行检查，在 test 按钮对应的选项中只有一组选项供选择该选项是 ids，用于显示节点编号是否已经被优化处理。

4.5.8 检查中间节点

在 Verify>Midnode 面板下可以对中间节点进行检查。在二阶单元中存在中间节点，该节点的位置也是衡量单元质量的一个重要参数。在 Test 按钮对应的选项中有两组选项供选择，分别是：

Normal Offset：计算中间节点的垂直偏移量与单元边长的比值。

Tangent Offset：计算中间节点到单元边中心的偏移量与单元边长的比值。

4.5.9 检查超级单元

在 Verify>Superelement 面板下可以显示高级单元的边界，同时选择是否显示节点。（该面板仅对 Nastran 有效）。

4.6 基于有限元网格模型的其他操作

4.6.1 重新标号

在生成网格的同时，Patran 会给节点、单元分配相应的标号（ID）。这些标号都是从 1 开始的正整数，并且没有重复，例如，为了将特定对象的标号限定在一定范围内，需要人为地改变这些标号。重新标号操作（Renumber）的对象有 4 种：Node、Element、MPC 和 Connector，其对应的操作面板如图 4-13 所示，在 Object 中可以看到。对节点、单元、多点约束和连接器 ID 的修改方法基本相同，在面板上，可以看到对象的 ID 的统计信息，如对象的总数、最大标号、最小标号等。在 Numbering Option 中，有两个选项，Starting ID 和 Offset ID，前者表示以输入的数字为起始标

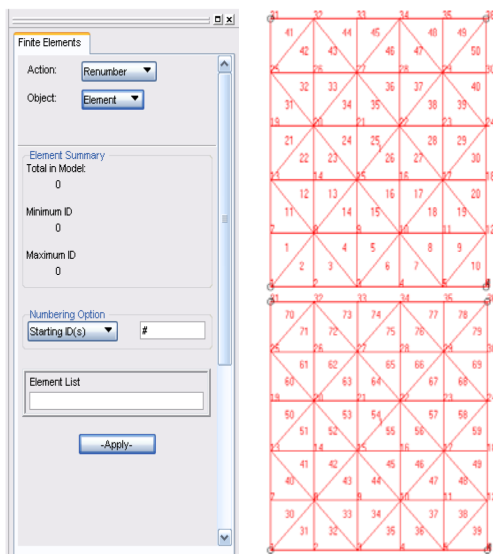


图 4-13 重新标号面板

号，重新对选定的对象编号，后者表示将输入数字与选定对象的标号之和作为对象的新标号，图 4-13 右图示出的是对从 36 开始编号的原单元重新从 1 开始编号。

4.6.2　联结（Associate）

在 Associate 操作是将节点或者与单元对应的几何相联结，使其建立逻辑上的相关性。从而使载荷、边界条件的施加不必一个节点一个节点或者一个单元一个单元的来处理，而是直接施加到几何上。例如，对于通过 IGES 文件输入的模型，因为这样的模型其有限元模型与几何间是不相关的，可以使用该操作建立逻辑上的相关性。

Associate 的操作对象有两种：Node 和 Element，对于 Node 而言对应的方法有 Curve 一种，即建立节点与曲线之间的相关性。曲线可以是独立曲线或者曲面、实体的边。对应于 Element 而言对应的方法有 4 种，分别是 Point, Curve, Surface, Solid，分别对应于 0D, 1D, 2D, 3D 单元，即几何的维数和单元的维数是一一对应的。

4.6.3　解除联结（Disassociate）

Disassociate 是 Associate 的反操作，可解除节点、单元与几何的逻辑相关性，其操作方法有两种，分别是：Geometry 和 IDs，前者是解除与该几何相关的所有的节点和单元的相关性，后者则是解除指定节点或单元与其几何的相关性。

4.6.4　优化（Optimize）

优化是重新给有限元模型的节点和单元编号，使得有限元分析的总刚度矩阵的元素分布合理，从而使求解器可以利用刚度矩阵的对称、带状分布、稀疏等特性，提高计算速度、占用尽可能少的 CPU 时间、内存和磁盘空间。优化的对象（object）有两个：节点和单元。优化使用的方法也有两种，分别是 Cuthill-McKee 和 Gbbs-Pool-Stk。这两种方法对于节点和单元都适用。Patran 同时提供了 4 种最小优化目标函数，在 Minimization Criterion 项中可以看到这四种函数分别是：RMS Wavefront,Bandwidth,Profile 和 Max Wavefront，对于不同的求解器，优化对象、优化算法和优化目标函数也不同。详见表 4-6。

表 4-6　不同求解器适用的优化对象、优化方法、和优化目标函数

求 解 器	优 化 对 象	优 化 方 法	优 化 目 标 函 数
ABAQUAS	Elements	Cuthill-McKee 和 Gbbs-Pool-Stk	RMS Wavefront
MD.NASTRAN	Nodes	Cuthill-McKee 和 Gbbs-Pool-Stk	RMS Wavefront
MARC	Nodes	Cuthill-McKee 和 Gbbs-Pool-Stk	RMS Wavefront
FEA	Nodes	Cuthill-McKee 和 Gbbs-Pool-Stk	Profile

4.6.5 显示信息

单击 ***Meshing*** 应用工具按钮，Action>show 面板用来显示节点单元等对象的相关信息，显示的对象共有 7 种分别是：Node, Element, Mesh Seed, Mesh Control, MPC, Connector 和 Point。在 Show/Node 面板下显示信息有两种，在 Info 按钮对应的选项中分别是节点的位置和节点到选定目标的距离，选择节点位置选项可以显示指定节点的坐标值。选择节点到选定目标的距离选项可以显示节点到选定目标的距离值，选定目标共有六种，在 Option 选项里可以看到，分别是 Node（节点到节点的距离）, Point（节点到点的距离）, Curve（节点到曲线的距离）, Surface（节点到曲面的距离）, Plane（节点到平面的距离）, Vector（节点到矢量的距离）等。

在 Show/Element 面板下显示信息有两种，在 Info 按钮对应的选项中分别是 Attributes 和 Coord. Sys.分别显示单元的属性和坐标系。当选择 Attributes 时，选定目标单元，则会显示单元的 ID、单元类型、相关的几何、节点数、边界条件、材料等。当选择 Coord. Sys. 时，在 Display Option 中可以选择以不同的颜色显示出单元所在的坐标系，这里的坐标系可以选择 Patran 中的坐标系，也可以是求解器中的坐标系，可以通过 Coordinate System Definition 选择，同时可以选定显示原点的位置。

在 Show>Mesh Seed 面板下可显示网格种子信息，主要包括种子的状态、类型、数量。

在 Show>Mesh Control 中可以显示 Mesh Control 相关的信息。

在 Show>MPC 中可以显示多点约束的相关信息。

在 Show>Connector 中可以显示连接器的相关信息。

在 Show>Point 中，在 Info 按钮对应的选中可以看到三组可以显示的信息，分别是点的位置、点到目标对象的距离、与点相关的节点信息。

4.6.6 删除有限元元素（Delete）

Meshing 中的 Delete 选项可以删除 Create 选项中建立的所有常见的有限元类型的对象。在 Object 中可以选择一次删除所有类型的对象，也可以选择删除某种类型的对象。可删除的对象包括：Mesh Seed, Mesh Control, Mesh, Node, Element, MPC, Connector, DOF list, Superelement。

4.7 创建有限元网格实例

4.7.1 卷簧网格划分实例

启动 Patran，选择菜单 File>Import，在 Import 面板中的 Source 选项中，选择文件类型

为 iges，如图 4-14 所示，点击文件名 Spiral_Surf.igs，单击 Apply 按钮，系统弹出输入文件信息，如图 4-15 所示，单击 OK 按钮确认，点击图标调整显示模型，见图 4-16。

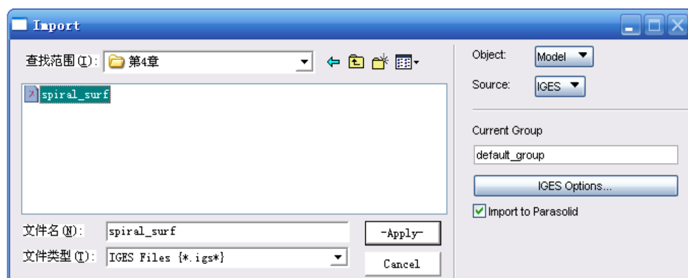


图 4-14　输入文件面板

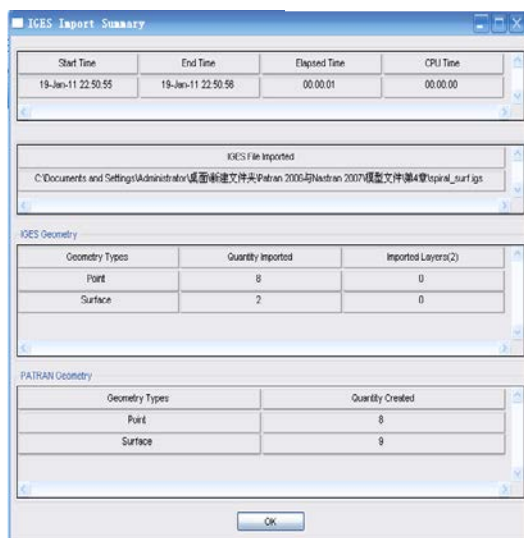


图 4-15　输入文件信息

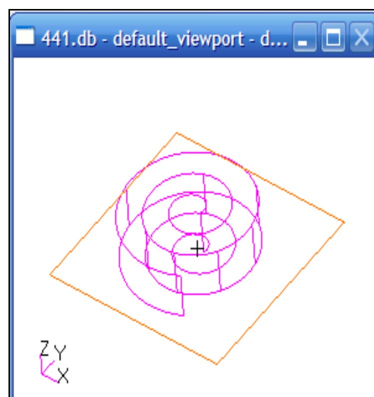


图 4-16　几何模型

单击 ***Geometry*** 中图标（Action>Associate），Object>Curve, Method>Surface 将曲面和平面联结起来，在 Curve list 选项中选择 Surface 7.2,在 Surface list 中选择 Surface 9，点击 Apply。图形中出现三角形，表明已经成功的将两个面联结在一起。如图 4-17 所示。

下面开始划分网格，单击 ***Meshing*** 中 Meshers 下图标（Action>Create, Object>Mesh, Type>Surface），在 Elem Shape 选项中选择四边形Quad，选择 Paver 网格生成器，拓扑类型选择Quad4，在Surface list 中选择Surface12，在单元尺寸选项中勾掉Automatic Calculation选项，在 Value 选项中手工输入单元尺寸为 0.5，点击 Apply，生成网格，如图 4-18 所示。

下面检查有限元模型，合并节点，单击 FEM Actions 中图标（Action>Equivalence, Object>All, Method>Tolerance Cube），点击 Apply，合并曲面和平面联结处重合（在一定公差范围内）的节点，如图 4-19 所示。

最后检查单元的自由边，单击 FEM Actions 中图标（Action>Verify, Object> Element, Test>Boundaries），选择显示类型（Display type）为 Free Edges，点击 Apply，自由边的显

示如图 4-20 所示。

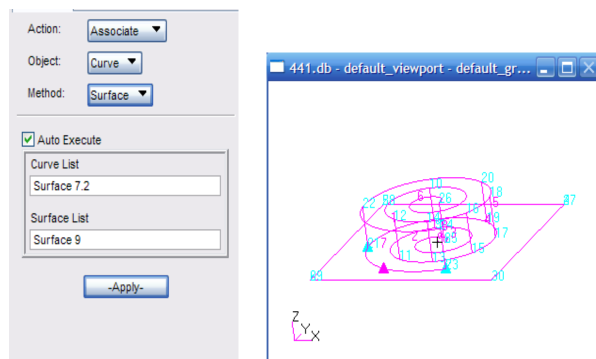


图 4-17　联结后的几何模型

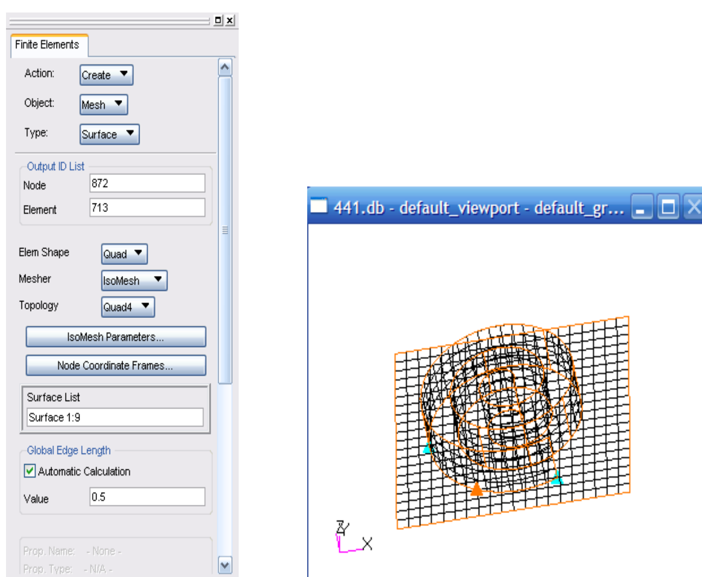


图 4-18　划分有限元网格

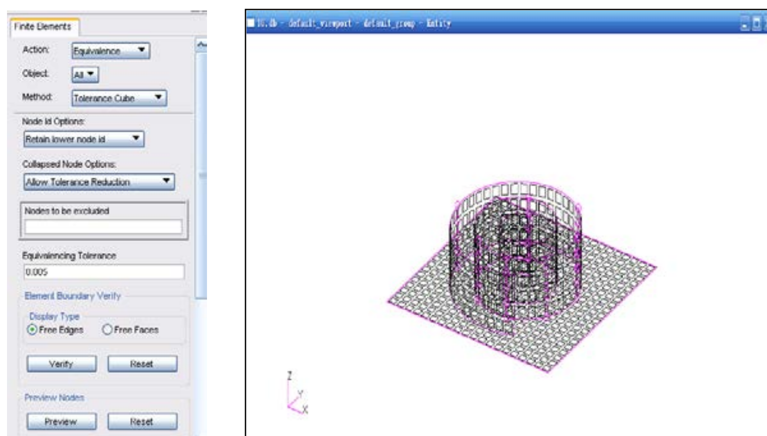


图 4-19　合并节点

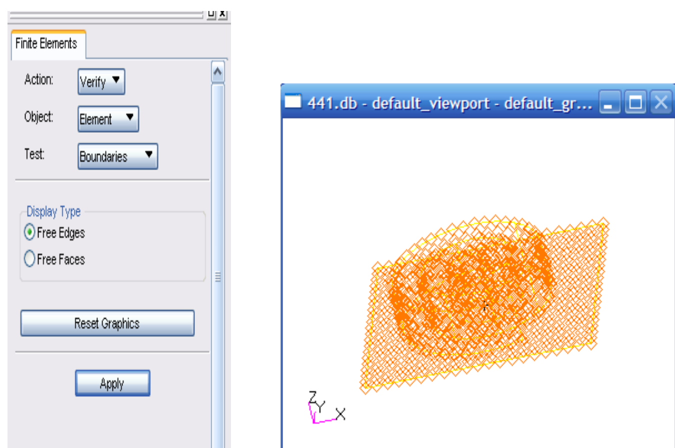


图 4-20　检查单元的自由边

4.7.2　支架网格划分实例

启动 Patran，选择菜单 File>Import，在 Import 面板中的 Source 选项中，选择文件类型为 Parasolid xmt，选择文件 hex.x-t，如图 4-21 所示，单击 Apply 按钮，系统弹出如图 4-22 所示的输入信息，单击 OK 按钮，导入文件。点击图标调整显示文件的视角，输入的模型如图 4-23 所示。

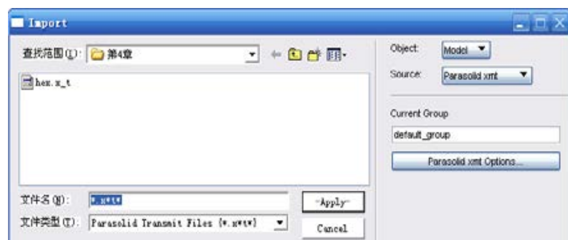


图 4-21　输入文件面板

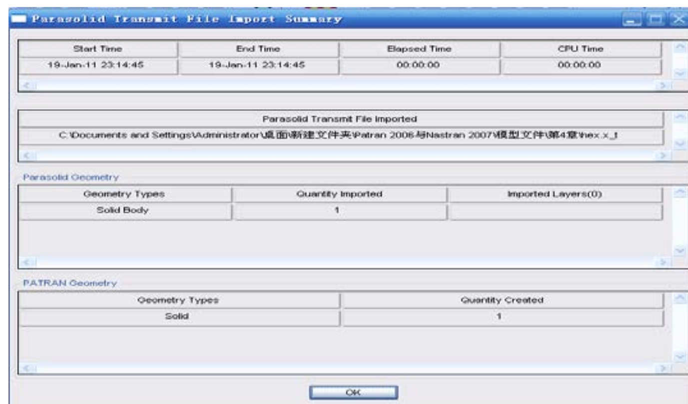


图 4-22　文件输入信息

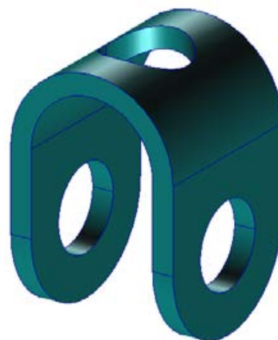


图 4-23　实体几何模型

选择 ***Meshing*** 中 Meshers 下图标（Action>Create，Object>Mesh，Type>Solid），在 Elem Shape 选项中选择 Tet10，选择 Tetmesher 网格生成器，拓扑类型选择 Tet10，在 Input list 中选择 Solid 1,在单元尺寸选项中勾掉 Automatic Calculation 选项，在 Value 选项中手工输入单元尺寸为 0.1，点击 Apply，生成网格，如图 4-24 所示。

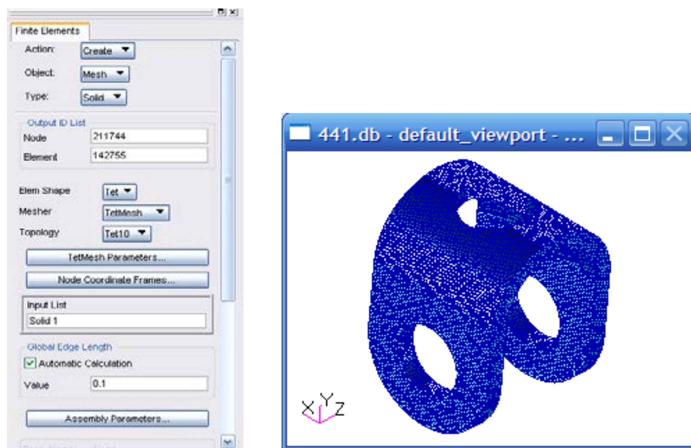


图 4-24　实体有限元模型

检查单元的质量，单击 FEM Actions 中图标（Action>Verify, Object>Tet, Test>All）点击 Apply，弹出确认单元质量对话框，如图 4-25 所示。

Tet Verification Summary

Test	Number Failed	Worst Case	At Element
Aspect	0	Max=6.0028706	118602
Edge Angle	59961	Max=88.421669	118602
Face Skew	61130	Max=64.550117	33539
Collapse	0	Min=0.16658697	118602
Normal Offset	0	Min=0.99726415	59156

Cancel

图 4-25　单元质量报告

下面通过修改命令提高单元质量，单击 FEM Actions 中图标（Action>Modify, Object>Mesh, Type>Solid），打开 Collapse Ratio 按钮，将接受值（Acceptance Value）设为 0.2，在 input list 中选择 solid 1，点击 Apply，提高单元质量，重新打开 Verify>Tet>All 面板，点击 Apply，弹出确认单元质量对话框，如图 4-26 所示，可以看到单元的最小 Collapse Ratio 接近 0.2。

Tet Verification Summary

Test	Number Failed	Worst Case	At Element
Aspect	0	Max=4.9909305	99794
Edge Angle	60022	Max=85.678604	99794
Face Skew	61230	Max=58.56078	142821
Collapse	0	Min=0.20004278	99794
Normal Offset	0	Min=0.99726415	59156

Cancel

图 4-26　单元质量报告

最后检查单元的自由面，对于实体单元都检查此项，单击 FEM Actions 中图标(Action>Verify, Object>Element, Test>Tolerance)，在 Display type 选项中，选择 Free Faces，点击 Apply 按钮，显示单元的自由面。

4.7.3 连杆网格划分实例

打开菜单 File>Import 命令，如图 4-27 所示，Object>Model，Source>STEP，File Type>AP203/214，打开 SETP Options 按钮，进入 Import Options 对话框，单击 Model Units 按钮，选择单位（Units）为 1000.0(Millimeters)，在文件浏览窗口选择 Bracket.step 文件，点击 Apply 按钮，系统弹出如图 4-28 所示信息，单击 OK，单击图标，改变视图显示，生成的模型如图 4-29 所示。

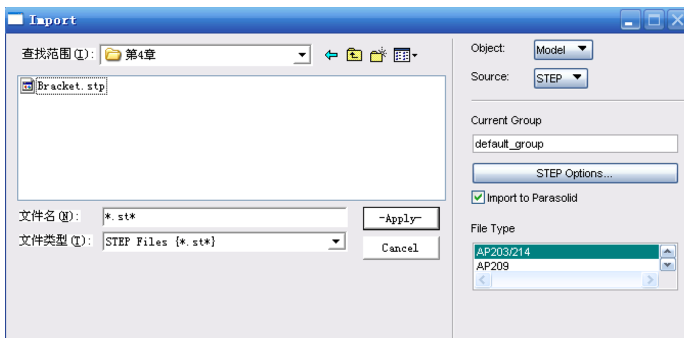


图 4-27　导入文件面板

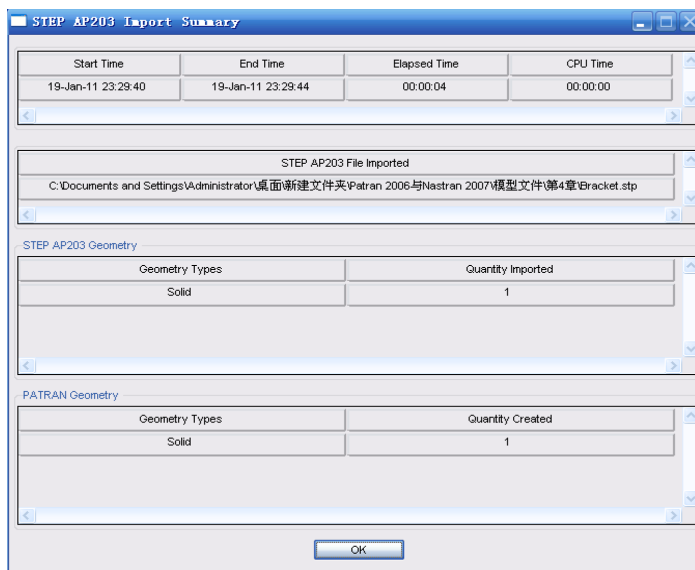


图 4-28　文件输入信息

在读入的实体表面划分四边形 4 节点 Quad4 单元。单击 Meshing 按钮，进入有限元网格划分面板。单击 Meshers 中图标（Action>Create, Object>Mesh, Type>Surface），Elem Shape>Quad, Mesher>Paver, Topology>Quad4，在 input list 中选择几何实体的上表面 Solid 1.1，在 Global Edge Length 选项中输入单元尺寸值 Value 为 6，单击 Apply，生成四边形网格，如图 4-30 所示。

在操作面板中，选择 Action>Sweep, Object>Element, Method>Extrude，单击 Mesher Control 按钮，Method>Uniform，选中 Number of Elements 复选框，Number 选项中输入单

元数 8，点击 OK 按钮，退出。Direct Vector 选项中，设置<0 0 -40>。选中 Delete Original Elements 复选框，在图形屏幕上选择所有的二维单元，点击 Apply 按钮，生成六面体网格。单击工具上的图标，然后单击 ***Geometry*** 选项中的 Erase 按钮，擦掉几何只显示有限元网格，参见图 4-31。

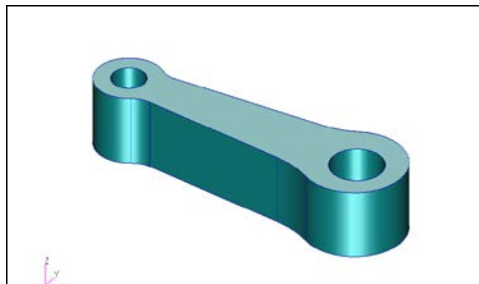


图 4-29　导入几何体视图

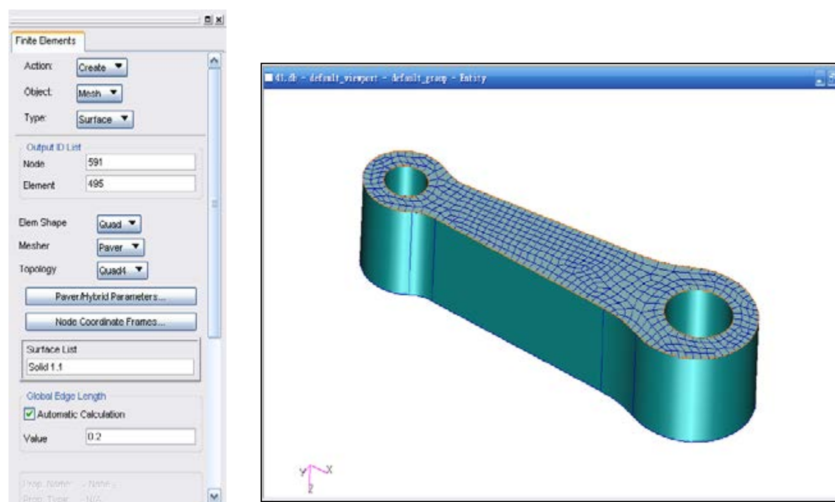


图 4-30　对表面网格化

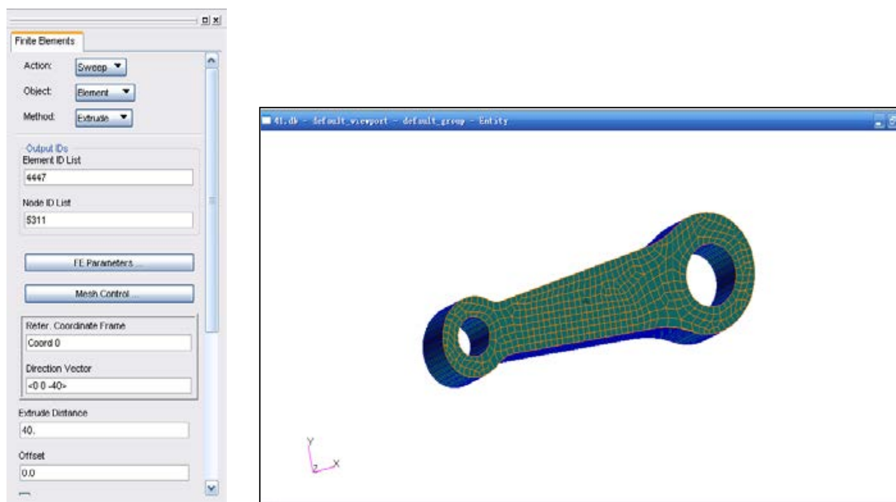


图 4-31　生成三维实体单元

4.8 托架线性静力分析全程实例——网格划分

此例接 3.7 节继续进行有限元网格划分操作，步骤如下：

（1）点击工具栏上的 Meshing 按钮，打开如图 4-32 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Solid，在页面中部依次设置 Elem Shape=Tet，Mesher=TetMesh，Topology=Tet10。

（2）如图 4-32 所示，鼠标点击 Input List 下框内，并在图形显示区内用鼠标左键选择实体模型，在 Input List 出现 Solid 1 信息，勾选取消 Automatic Calculation 选项，设置 Value=0.25。点击 Apply 按钮，完成实体的网格划分。

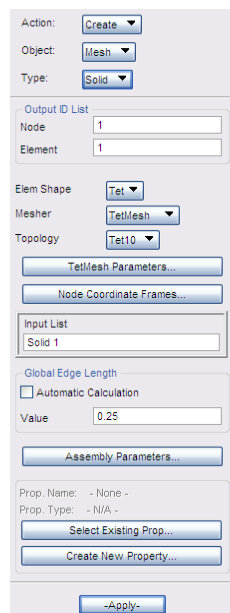


图 4-32 Finite Elements 页面

第 5 章　材料属性

内容导航



任何实体都是由各种材料构成的，材料是实际结构的承载体，Patran 支持多种材料本构关系的定义，基本涵盖了各工业领域的应用。在 Patran 中一种材料可以有多种本构关系，对于不同的分析程序，各种材料的本构关系定义方法也不相同。

通过本章的学习，读者可以掌握如何在 Patran 中定义工程中常用的材料模型。

重点剖析

* 材料模型的分类
* 常用材料模型的创建
* 材料模型的显示

5.1　概述

单击***Properties***应用工具按钮，开始创建材料属性。简单地说创建一个材料模型的过程是：先输入材料的名称，再输入材料的属性，比如弹性模量、泊松比、密度等。不同的分析程序有不同的本构定义，材料特性的定义也以分析程序的不同而不同，本章基于Nastran来定义材料模型。图5-1为定义材料属性的快捷工具栏，图5-2所示为定义材料属性的界面。



图 5-1　创建材料属性的快捷工具界面

Patran 支持多种本构模型，在 Input Properties 对应的面板中输入要定义的材料属性，选择材料模型的本构模型，如图 5-3 所示，共有 7 种本构模型，分别是：Linear Elastic（线性）、Nonlinear Elastic（非线性弹性）、Hyperelastic（超弹性）、Elastoplastic（弹塑性）、Failure（失效共有 4 种）、Failure 1 (SOL 400/600)、Failure 2 (SOL 400/600)、Failure 3 (SOL 400/600)、Creep（蠕变）和 Viscoelastic（粘弹性）。一种材料可以有多种本构模型，例如钢材可以有弹性、弹塑性和蠕变本构模型，在 Patran 中，单击 Change Material Status…，通过 activate 和 deactivate 来控制，如图 5-4 所示。

对于复杂材料曲线，如应力应变随温度变化等，可以通过场来定义。对于已经存在的材料可以作为模板来创建新的材料。

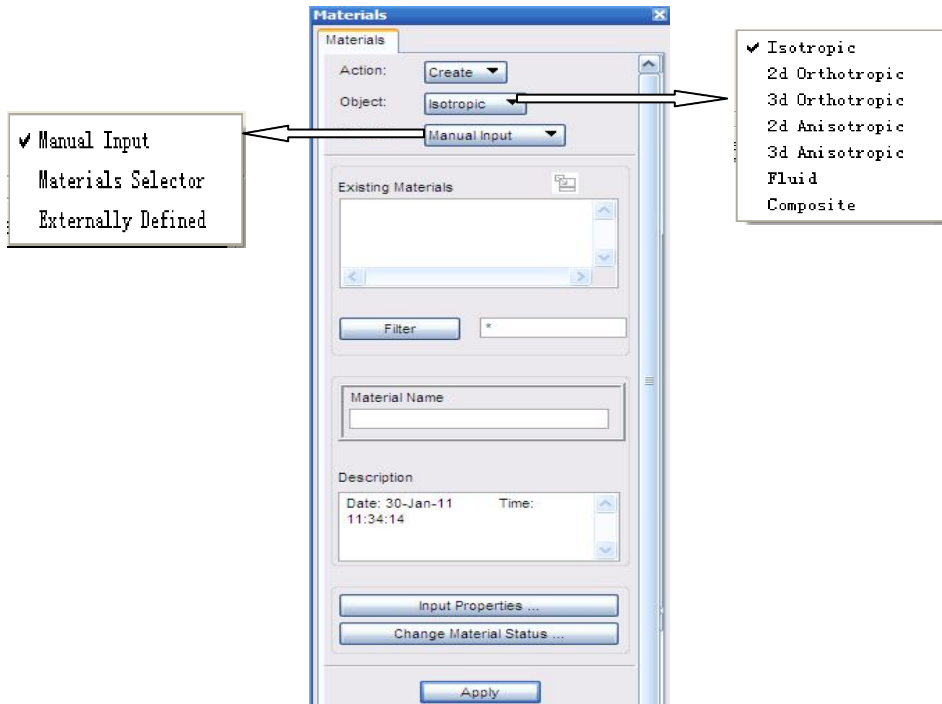
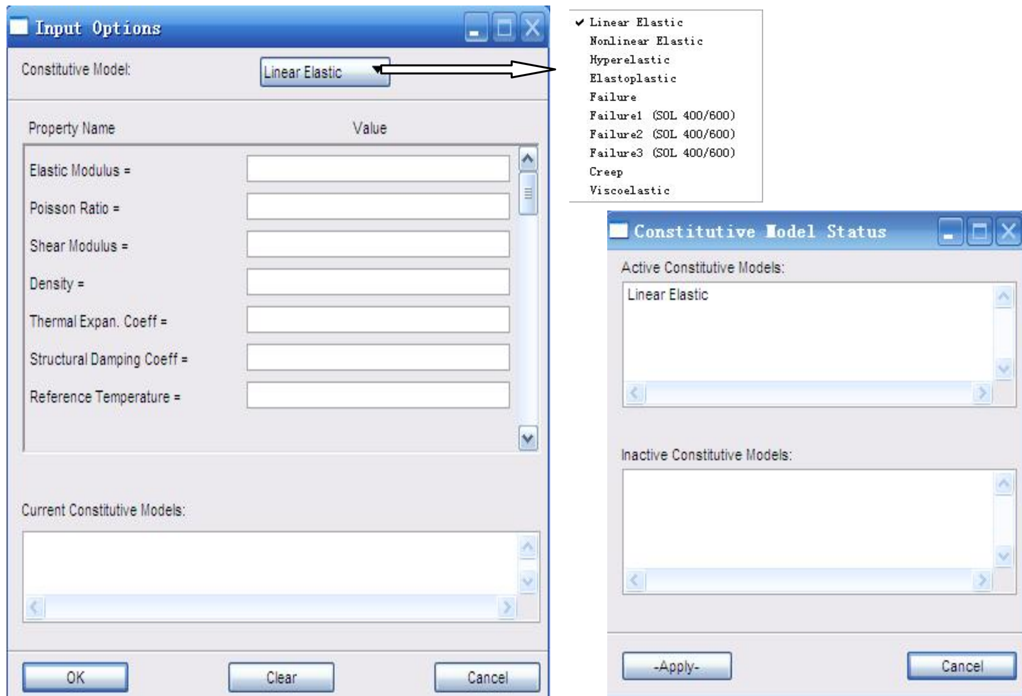


图 5-2　创建材料属性的界面



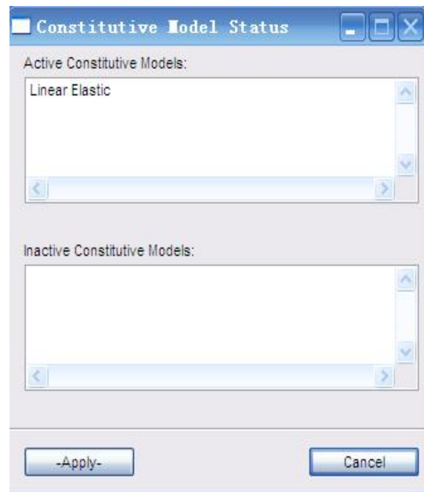


图 5-3　创建材料模型

图 5-4　控制材料本构模型的状态

5.2　创建材料模型

5.2.1　材料模型的分类

Patran 支持的结构材料模型主要为 Isotropic, 2d Orthotropic, 3d Orthotropic, 2d anisotropic, 3d Anisotropic, Fluid, Composite，分别如图 5-2 所示，下面一一介绍：

（1）Isotropic 材料模型：各向同性材料模型，需要输入两个材料参数（弹性模量和泊松比）。

（2）2d Orthotropic 材料模型：2d 正交各向异性材料，共有 6 个材料参数。

（3）3d Orthotropic 材料模型：3d 正交各向异性材料，共有 9 个材料参数。

（4）2d Anisotropic 材料模型：2d 各向异性材料，共有 9 个材料参数。

（5）3d Anisotropic 材料模型：3d 各向异性材料，共有 21 个材料参数。

（6）Composite 材料模型：复合材料模型。

单击 ***Properties***，Action>Create, Object>Composite，如图 5-5 所示，开始创建复合材料，创建复合材料的方法有 9 种：

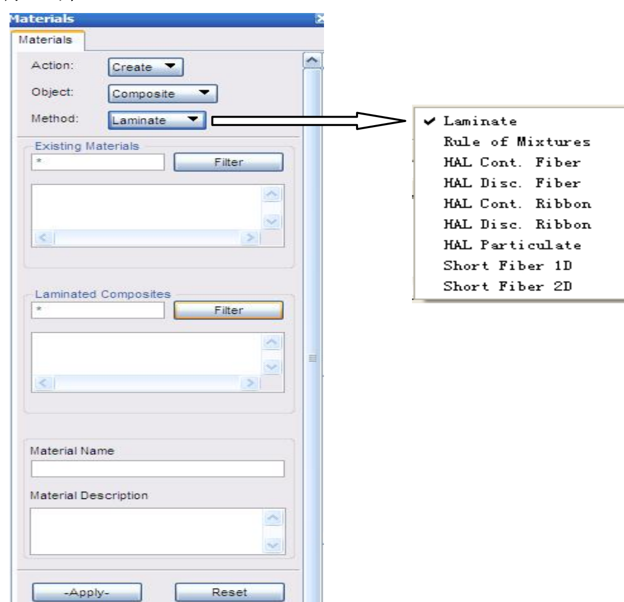


图 5-5　创建复合材料

□ Laminate 模型：创建复合板复合材料。复合板是按预先制定好的单层板按一定顺序和角度铺好，再加温加压固化而成，定义时先定义单层，然后再逐层铺设。

◆ Rule of Mixtures 模型：混合准则模型，用于三维实体材料的创建，该材料模型可以由多种材料组成，每种材料的角度任意，体积比也可以任意调整。单击 Action>Create, Object>Composite, Method>Rule of Mixtures，弹出图 5-6 所示对话框。已定义好的材料名称会出现在 Phase Material Name List 输入框中，如 aluminum 材料模型和 steel 材料模型；在

Phase Volume 输入每种材料的体积含量；在 Phase Orientations 中，输入每种材料的空间角度。

◆ HAL Cont. Fiber 模型：连续纤维复合材料，该材料模型中只有两相，一种是基体，一种是增强纤维材料，纤维是均质、连续、各向同性的圆柱状纤维。Fiber Volume Fraction 用来定义纤维的体积含量，Matrix Volume Fraction 用来定义基体的体积含量，所设计的材料为横向各向同性材料。

◆ HAL Disc. Fiber 模型：不连续纤维复合材料，该材料模型的定义类似 HAL Cont. Fiber，不同之处在于该材料模型需要输入不连续纤维的长径比：Fiber Aspect Ratio。

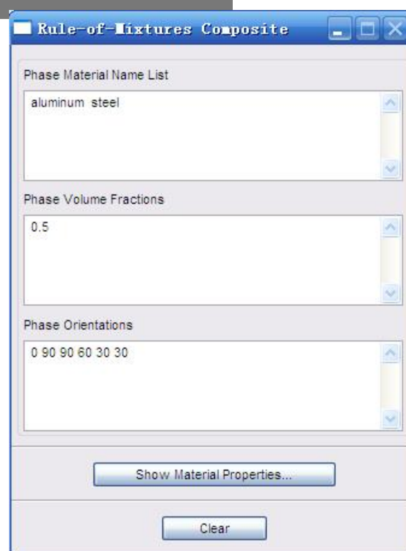


图 5-6　混合准则模型

◆ HAL Cont. Ribbon 模型：连续纤维增强复合材料，该材料模型与 HAL Cont. Fiber 材料模型类似，不同之处在于其增强纤维，在该材料模型中，增强纤维是具有矩形截面的均质、连续、正交各向异性，面板如图 5-7 所示。

 HAL Disc. Ribbon 模型：不连续纤维增强复合材料，该材料模型中的纤维是矩形截面不连续的纤维，用 Fiber Aspect Ration 中的 l/t 和 w/t 来定义纤维截面矩形的长度与纤维本身长度的比值和矩形截面的宽度与纤维本身长度的比值，其创建面板如图 5-8 所示。

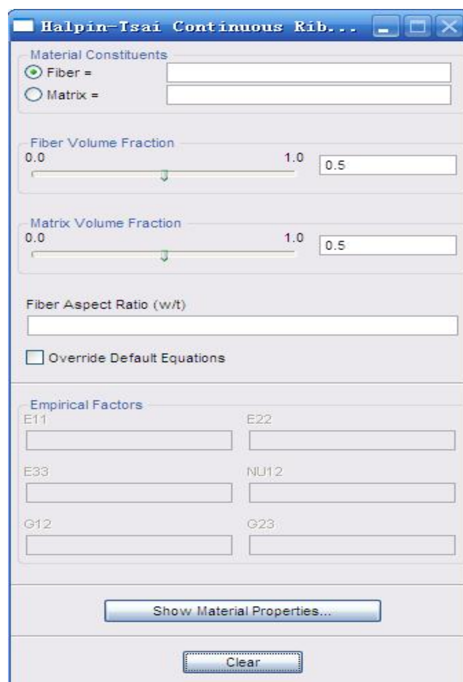


图 5-7　连续纤维增强材料

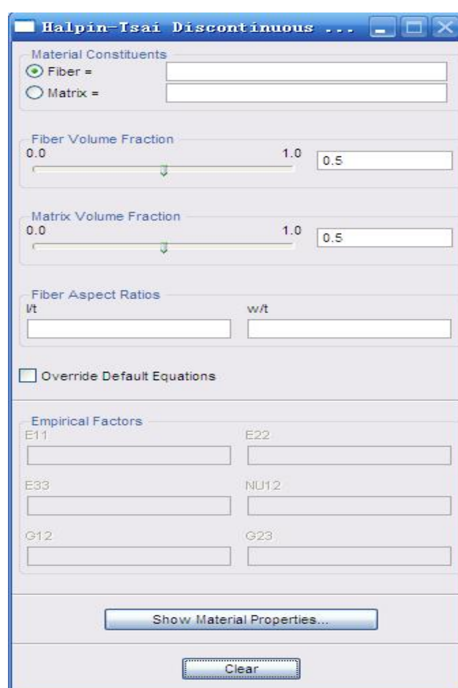


图 5-8　不连续纤维增强材料

◆ HAL Particulate 模型：颗粒增强复合材料模型，该材料模型有两相，分别是基相和颗粒增强相，两者都要求各向同性材料。

◆ Short Fiber 1D 模型：一维短纤维增强复合材料模型，用高斯曲线来描述纤维的增强方向，用于计算短切纤维增强复合材料的材料特性，用户通过指定短切纤维的分布方向和规律，来设计短切纤维增强复合材料，通过指定指定主方向和方向分布标准差来定义高斯分布。如图 5-9 所示，各输入框的含义从上到下分别为：指定材料的名称、指定主方向的角度、指定标准偏差的角度和指定迭代次数。这里 Monte Carlo 积分算法用来计算正态分布的单向短切纤维的贡献。

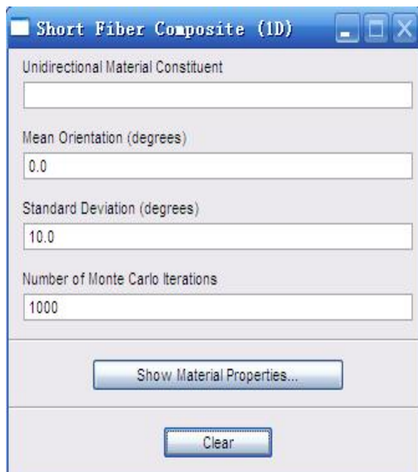


图 5-9　短切纤维增强复合材料

◆ Short Fiber 2D 模型：二维短纤维增强复合材料模型，用高斯曲面来描述纤维的增强方向，用于计算短切纤维增强复合材料的材料特性，其创建方法可以参考 Short Fiber 1D 模型。

5.2.2　创建材料模型的方法

如图 5-2 所示，有三种常用的定义材料属性的方法，分别是 Manual Input、Materials Selector 和 Externally Defined：

（1）Manual Input 方法：在输入材料属性选项对应的面板中，选择材料的本构模型，并输入相应的的参数，如图 5-3 所示。

（2）Materials Selector 方法：从 MVISION 中导入相关材料的数据信息。需要说明是 MSC.Patran 本身并不带任何材料库，因此，要选择材料库还需要安装 MVISION。

（3）Externally Defined 方法：用户只创建材料模型的名称，然后在求解器的输入文件中创建材料数据信息。

5.3　显示材料模型

单击 ***Properties*** 应用工具按钮，单击快捷工具栏 Property Actions 中的 Show Material 按钮（Action>Show），可以显示创建的材料模型。在显示的材料属性对话框中，可以通过选择 Show Material Stiffness…和 Show Material Compliance…按钮，显示材料的刚度矩阵和柔度矩阵，如图 5-10 所示。

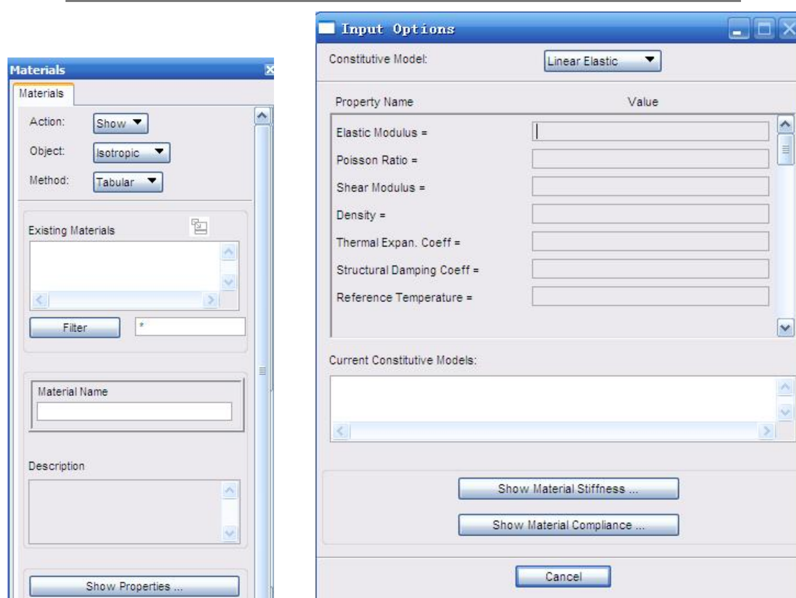


图 5-10　显示创建的材料模型

5.4　工程实例

下面通过三个工程实例俩具体讲述设置材料属性的一般方法和技巧。

5.4.1　各向同性材料模型实例

创建一种各向同性材料模型，该材料有两种本构模型：弹性和弹塑性。材料参数如下：弹性模量E＝30e6，泊松比ν＝0.3，屈服极限σ_y＝7000 psi，硬化斜率（hardening slope）为 7000psi，创建完成后显示材料的刚度矩阵。

如图 5-11 所示，在 Material Name 面板中输入材料名称，单击 Input properties 按钮，开始打开输入选项面板，在本构模型选项中选择 Linear Elastic，输入弹性模量和泊松比，单击 OK。

选择本构模型为 Elastoplastic，如图 5-12 所示，在非线性数据输入中，选择 Hardening slope，并输入相应的数值，单击 OK、Apply 完成创建。

检查材料属性：单击（Action>Show, Object>Isotropic, Method>Tabular），在 Existing Materials 中选择刚创建的 mat1，在弹出的材料属性面板中选择 Show Material Stiffness…选项，弹出材料刚度矩阵，如图 5-13 所示。

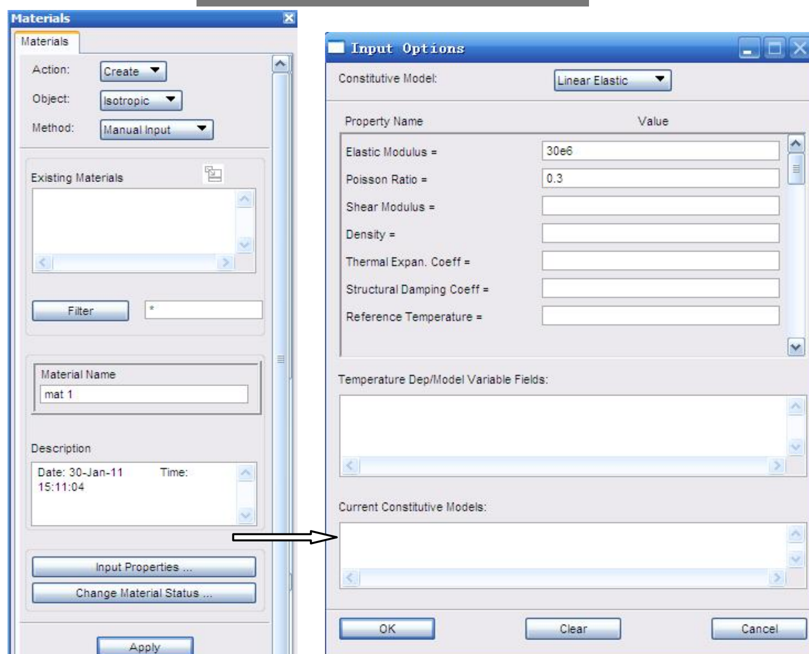


图 5-11　创建线弹性本构模型

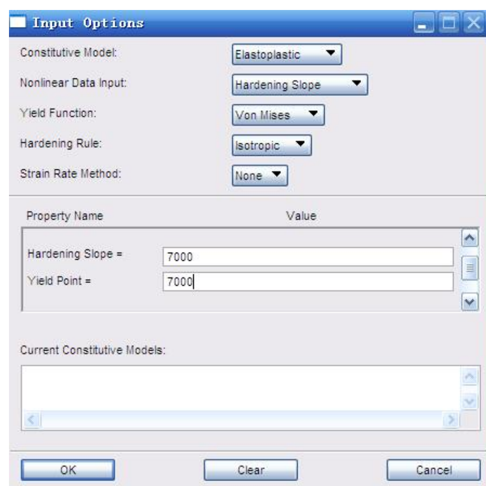


图 5-12　弹塑性本构模型

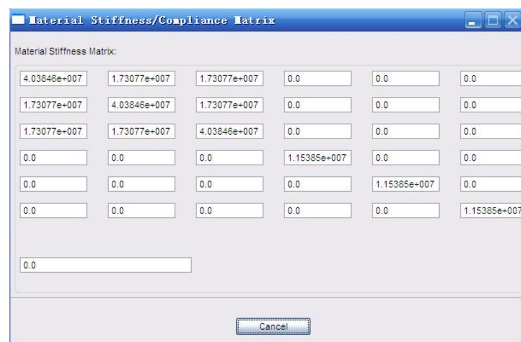


图 5-13 材料的刚度矩阵

5.4.2　九层复合材料模型实例

如图 5-14 所示，创建九层复合材料模型，其基层材料为 2D正交各向异性材料，其参数为E_{11}＝40e6，E_{22}＝1e6，ν_{11}＝0.25，G_{12}＝G_{13}＝0.6e6，G_{23}＝0.6e6，辅层的厚度为：0.01 / 0.0125 / 0.01 / 0.0125 / 0.01 / 0.0125 / 0.01 / 0.0125 / 0.01，辅层的方向为：0 °/ 90° / 0° / 90° / 0° / 90° / 0° / 90° / 0° 。

（1）单击（Action>Create, Object>2d Orthotropic, Method>Manual Input），在 Material

Name 输入框中，输入要创建的材料特性的名称 lam_prop，单击 Input Properties…按钮，打开如图 5-15 材料参数设置面板，输入相关的参数。单击 OK、Apply 完成 2D 正交各向异性材料的创建。

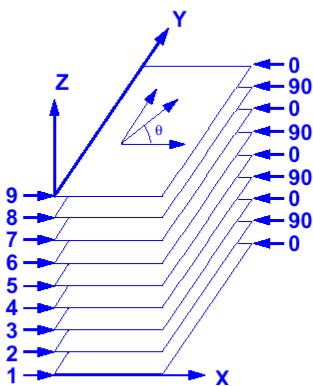


图 5-14　复合材料模型

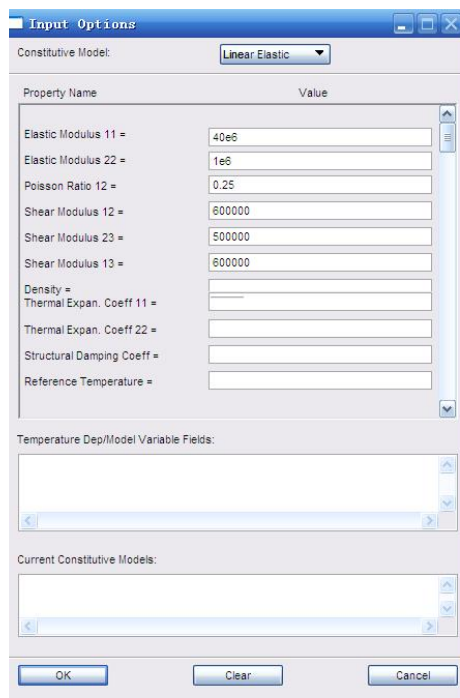


图 5-15 材料参数设置

（2）创建复合材料：Action>Create, Object>Composite, Method> Laminate, 在 Material Name 输入框中，输入要创建的材料模型的名称：Composite, 在 Existing Materials 选项框中会出现上一步创建的材料模型名称 lam_prop, 单击该名称弹出如图 5-16 所示的面板，连续单击 9 次弹出 9 层，Patran 中铺层的方式共有 6 种，通过 Stacking Sequence Convention 对应的下拉菜单确定，含义分别是：Total 指逐层铺设，逐层指定单层的材料、厚度、方向；Symmetric 是用对称方法铺层，只需要输入其一半即可，另一半由系统在计算时对称生成，需要说明的是总层数为偶数；Symmetric/Mid_Ply 方式与 Symmetric 方式有些类似，但是它的层数是奇数，层合板的材料对称面过中间单层的中面；Anti-Symmetric 是反对称铺设，其总层数为偶数；Symmetric/Mid_Ply 也是反对称铺设，其总层数为奇数。当设定厚度和方向时，单击对应空白输入框，在 Input Date 中输入相关的

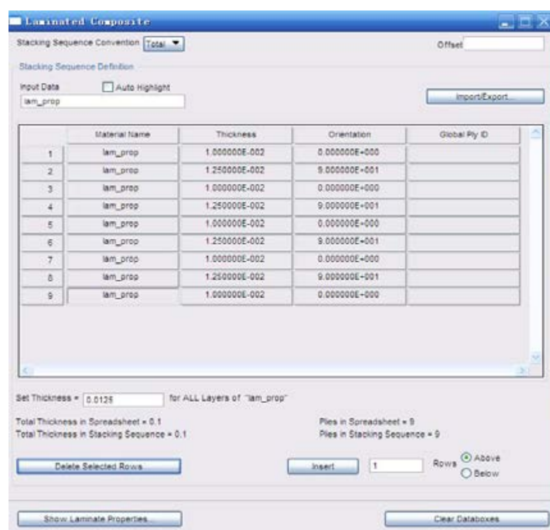


图 5-16　复合材料

数据，单击 Enter 键完成输入。

5.4.3　温度相关材料模型实例

创建温度相关材料，该材料的弹性模量和热膨胀系数 α 随温度变化的规律如表 5-1 所示，泊松比为 0.3。

表 5-1　材料属性表

T(温度)	E(弹性模量)	ν（泊松比）	α（热膨胀系数）
0	10×10^{6}	0.3	6.0×10^{6}
200	9.5×10^{6}	0.3	5.0×10^{6}
400	9.0×10^{6}	0.3	4.0×10^{6}

（1）创建两个场：单击快捷工具栏 Fields 中的 Material 按钮（Action>Create, Object>Material Property, Method>Tabular Input），Active Independent variables 选项中选择：Temperature，分别定义名称为 Alpha 和 Elastic_Module 的场，其中 Alpha 定义热膨胀系数 α 随温度的变化；Elastic_Module 定义杨氏模量随温度的变化，如图 5-17 所示。

（2）定义材料属性：单击（Action>Create, Object>Isotropic, Method>Manual Input），在 Material Name 中输入 thermal elastic，单击 Input Properties…按钮，如图 5-18 所示，定义的材料场出现在 Temperature Dep/Model Variable Fields 中，Elastic Modules 和 Thermal Expan. Coeff 的输入直接从 Temperature Dep/Model Variable Fields 中点取，单击 OK、Apply，完成创建。

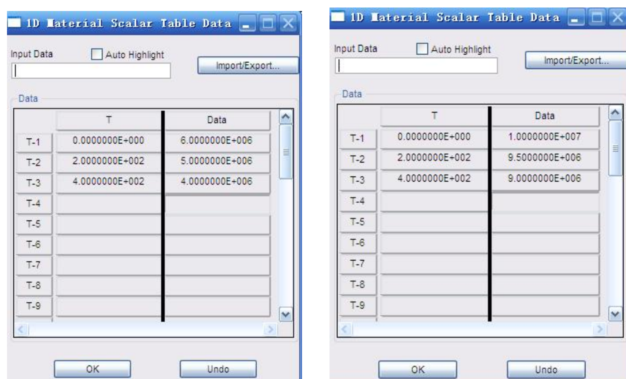


图 5-17　定义场

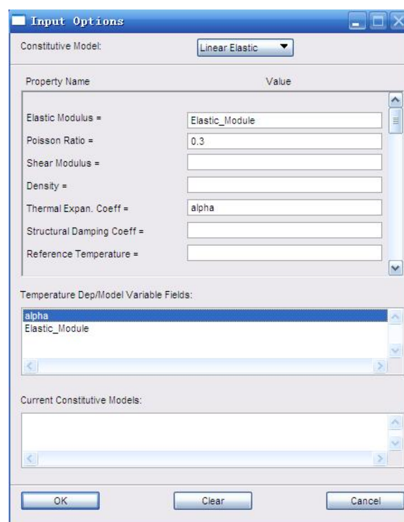


图 5-18　定义材料属性

5.5　托架线性静力分析全程实例——定义材料本构关系

本节接 4.8 节内容，定义线弹性材本构关系。具体操作如下：

（1）点击工具栏上 Propertie 下的 Isotropic 按钮，在如图 5-19 中所示的 Material 页面中，依次设置 Action=Create，Objective=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 5-19 所示，在 Material Name 文本框中输入 Aluminum。

（3）如图 5-19 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 5-20 所示的 Input Options 页面。在 Constitutive Model 列表框中选择 Linear Elastic。在 Elastic Modulus 文本框中输入数值 10e6，在 Possion Ratio 文本框中输入数值 0.3，点击 OK 按钮退出面板。

（4）如图 5-19 所示，点击 Apply 按钮，完成材料定义。

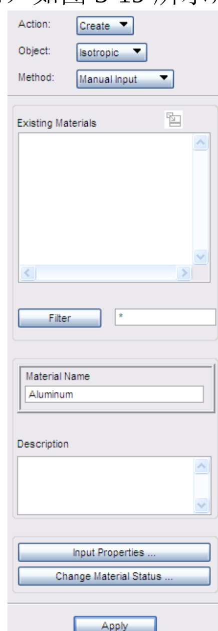


图 5-19　Material 页面

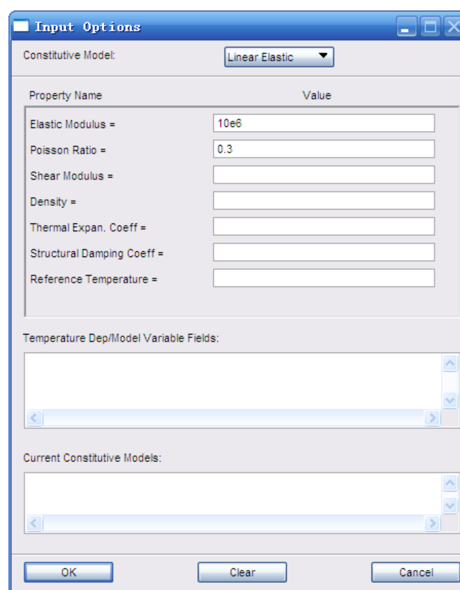


图 5-20　Input Options 页面

第 6 章　单元属性

内容导航



网格划分完成后，只确定了单元的空间拓扑关系，而并没有确定单元的物理意义。单元属性就是赋予单元不同的物理特性，这些物理特性包括单元类型、单元材料、截面几何特性等，要根据实际结构和分析程序来创建单元属性。

通过本章的学习，读者可以掌握 0D、1D、2D、3D 单元的单元属性的创建。

ᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕ

重点剖析

* 0D、1D、2D、3D 单元的单元属性的创建

ᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕ

6.1　概述

单击***Properties***应用工具按钮，开始创建单元属性。***Properties***部分的功能就是根据实际结构结合分析程序创建物理特性，并将其应用于对应的有限元单元。类似于边界条件的定义，每创建一个Property，都要定义一个名称，该名称是该物理特性的唯一标识，对每个物理特性的操作也都通过对其名称的操作实现。在Properties中，对物理特性可以进行创建、显示、修改和删除等操作，图6-1所示为创建单元属性的快捷工具栏，图6-2所示为定义单元属性的一个界面。

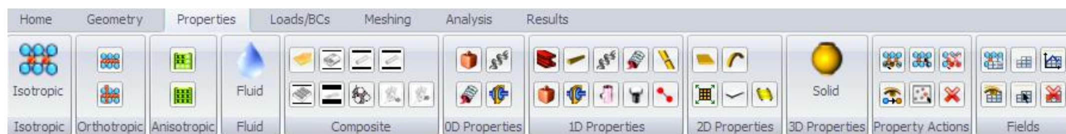


图6-1　创建单元属性的快捷工具界面

Patran 中单元属性的定义，实际上就是确定单元的类型（例如 Shell、Bar、Beam、Rod、Solid 等）、单元的材料、截面几何特性等。所以，单元的物理特性是与分析求解器直接相关的。不同求解器支持不同的单元类型，定义的方法和过程也有所不同。本章以 Nastran 求解器为说明依据。

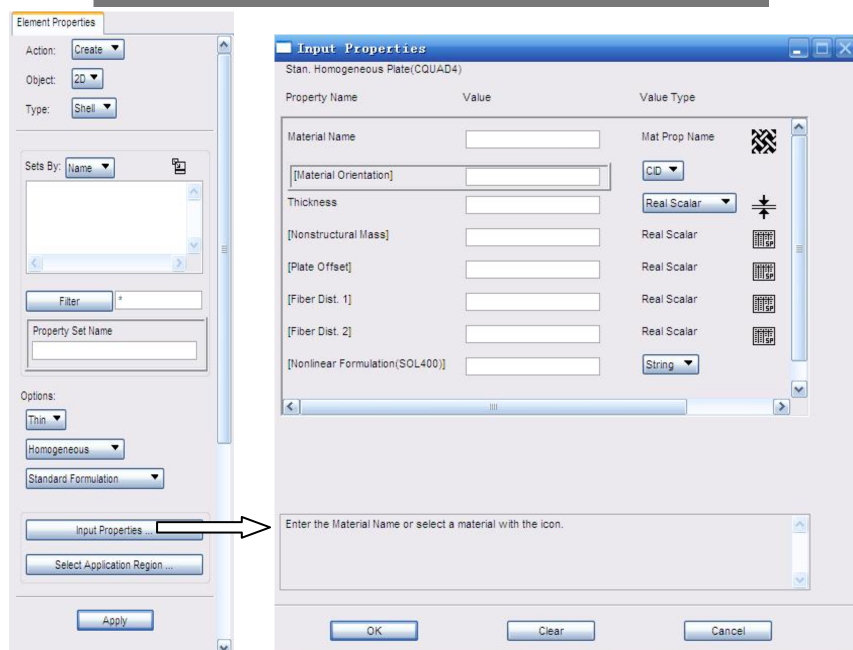


图6-2　创建单元属性的界面

6.2　创建单元属性

6.2.1　0D 单元属性

单击 ***Properties*** 应用工具按钮，在快捷工具栏中 0D Properties 对应面板上的命令为：Action>Create，Object>0D。创建 0D 单元的单元属性，如图 6-3 所示，Type 选项中所对应的单元类型共有 4 种：

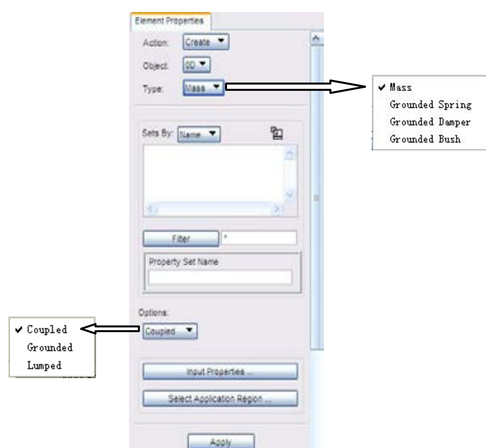


图 6-3　创建 0D 单元的单元属性

Mass 单元属性：用于定义质量单元的物理特性，在 Option 选项中共有三组选择，分别是 Coupled（耦合质量）、Grounded（接地质量）和 Lumped（集中质量）。

Grounded Spring 单元属性：定义一个弹簧单元。

Grounded Damper 单元属性：定义一个阻尼器单元。

Grounded Bush 单元属性：用多个参数定义弹簧－阻尼器系统。

6.2.2　1D 单元属性

单击 ***Properties*** 应用工具按钮，在快捷工具栏中 1D Properties 对应面板上的命令为：Action>Create，Object>1D。创建 1D 单元的单元属性，如图 6-4 所示，1D 单元的类型有很多种，包括 Beam、Rod、Spring、Damper、Gap、1D Mass、Rigid Line、PLOTEL、Bush、Spot Weld Connector 和 Fastener Connector。下面重点讲述 Beam 单元类型。

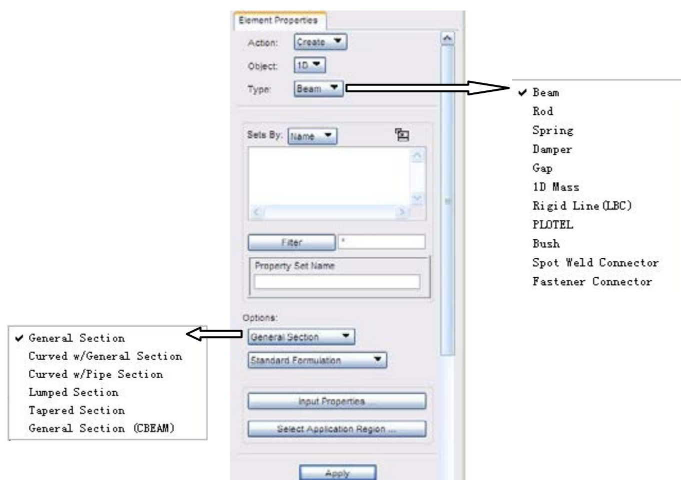


图 6-4　创建 1D 单元的单元属性

1. Beam 单元

Beam 单元是一种工程中常用的单元类型，且由于截面形状不同而有许多不同类型。在 Patran 中，既可以通过直接指定截面的参数，如：截面面积、惯性矩、扭转刚度等，来定义截面，也可以具体指定截面的形状。如图 6-4 所示，截面选项共有 6 组，下面介绍选择不同的选项时梁截面的定义和对应参数的含义：

（1）General Section：单击 Input Properties 按钮，打开如图 6-5 所示的输入面板，各参数的含义如下：

- Section Name：用户自己定义梁的截面或者在截面库中选择梁的截面。
- Bar Orientation：定义一个局部坐标，其中 X 轴将沿梁的轴线方向。
- Offset@Node 1/Offset@Node 2：用两个矢量来定义单元两个节点相对于梁截面型心的偏移量。
- Pinned DOFs：选定在单元局部坐标下单元节点的自由度，用来去除节点与单元两端相应自由度之间的联系。

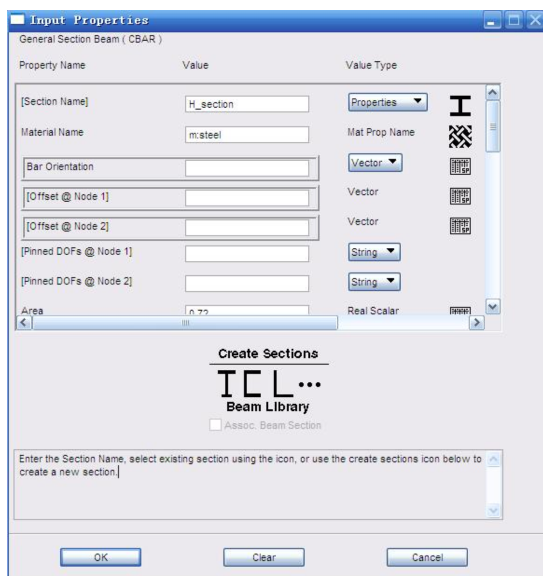


图 6-5　定义梁截面面板

□ Area：定义截面面积。

□ Initial i,j：定义截面惯性矩。

□ Torsional Constant：定义截面的抗扭刚度。

□ Shear Stiffness：定义截面的剪切刚度。

◆ Nonstructural Mass：定义非结构质量，该质量不包含在单元的物质质量内，其数值是单位长度单元的质量。

◆ X(Y,Z) of Point C(D,E,F)：表征应力恢复，定义了梁单元横截面上的应力恢复点的 Y 和 Z 坐标，该值是在单元局部坐标系下的坐标值。

◆ Station Distance：输入单元的长度分数以在单元上定义至多六个点，因为是长度分数，所以其值在 0~1。

单击 Create Sections 按钮，打开定义梁截面形状的面板，如图 6-6 所示，Object 选项对应两组选择，用户可以自己定义截面形状，也可以选择标准的截面形状。

（2）Curved W/General Section：通过给定一条曲线的曲率半径和方向，定义曲线梁单元。

（3）Curved W/Pipe Section：定义曲线管道梁单元或是拐角形的弯管单元。

（4）Lumped Section：用于定义截面不变的梁单元，该截面是一集中的面积。

（5）Tapered Section：用于定义锥形的梁单元，该单元的截面是沿单元长度方向逐渐变化的。

为了更加形象的理解梁单元定义的方法及各参数的含义，参见图 6-7 所示梁单元的示意图，该示意图给出了在 Nastran 求解器和 Abaqus 求解器中梁单元的定义方式。

2.　Rod 单元（Action>Create，Object>1D，Type>Rod）

Rod 单元受轴向载荷和扭转载荷作用。打开定义杆单元的面板，当 Option 选择 General Section 时，创建能够承受拉、压、扭转的杆，单击 Input Properties 按钮，打开如图 6-8 所

示的输入面板，各参数的含义如下：

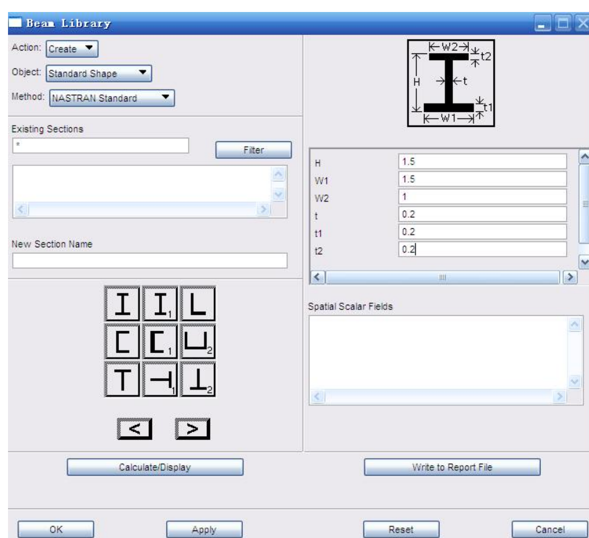


图 6-6　梁单元的截面库

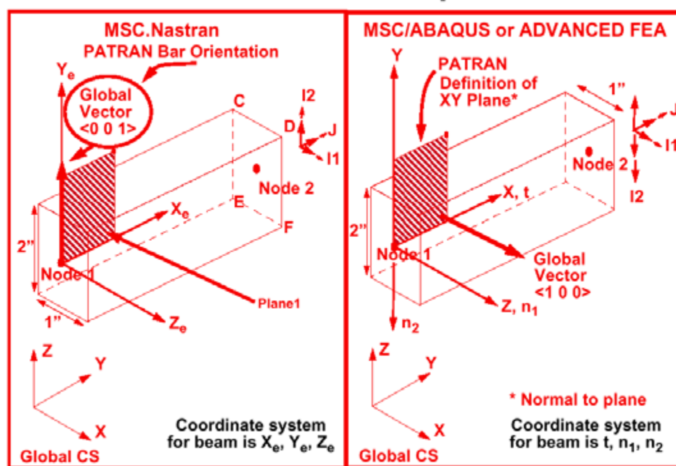


图 6-7　梁单元定义的示意图

◆ Material Name：单元所使用的材料。

◆ Area：杆单元截面面积。

◆ Torsional Constant：杆单元的抗扭刚度。

◆ Tors. Stress Coeff.：用于确定扭转应力的扭转应力系数。

◆ Nonstructure: 非结构质量，不包含在单元质量之内。最简单的杆单元设置只需要输入面积值即可，如图 6-8 所示。

当 Option 选择 Pipe Section 时，可以创建能承受拉、压、扭转的管状的杆。

3. Spring 单元（Action>Create，Object>1D，Type>Spring）

创建一维弹簧，通过定义弹簧的弹性常数、阻尼、单元的自由度等来实现。打开创建弹簧单元的面板，单击 Input Properties 按钮，打开如图 6-9 所示的输入面板，各参数的含

义如下：

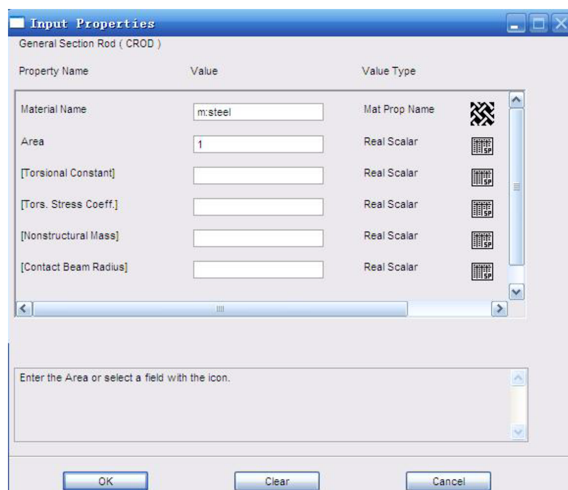


图 6-8　杆单元的输入面板

◆ Spring Constant：弹簧单元的弹性常数。

◆ Damping Coefficient：弹簧单元的阻尼系数。

◆ Stress Coefficient：弹簧单元的应力系数。

□ Dof at Node 1(2)：弹簧单元在起止节点的自由度。

□ User Def CS. number：用户定义坐标系的编号。

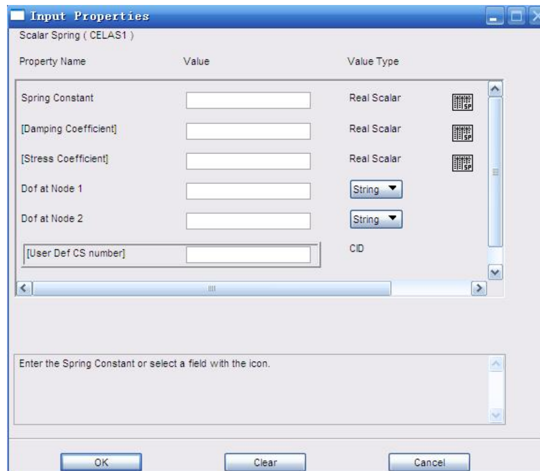


图 6-9　弹簧单元的输入面板

4. Damper 单元（Action>Create，Object>1D，Type>Damper）

定义阻尼器单元。 Option 项中有两组选择，分别是 Scalar 和 Viscous，当选择后者时定义粘性阻尼器单元。

5. GAP 单元（Action>Create，Object>1D，Type>GAP）

定义间隙单元，用于非线性分析。Option 项中有两个选择，分别为 Adaptive 和 Nonadaptive，当选择 Adaptive 选项时，单击 Input Properties 按钮，打开如图 6-10 所示的输入面板，各参数的含义如下：

□ Gap Orientation：定义间隙单元的方向。

□ Initial Opening：间隙初始的大小。

□ Preload：作用在间隙单元上的预载荷。

□ Closed/Opened Stiffness：定义间隙单元闭合张开刚度。闭合刚度必须正确的选择使其与周围的单元完全匹配。

□ Sliding Stiffness：定义单元闭合时的剪切刚度。

□ Static Friction：定义静摩擦系数。

□ Kinematic Friction：定义动摩擦系数。

□ Max Penetration：定义最大穿透量。

□ Max Adjust Ratio：定义最大允许的调整率。

□ Penet. Lower Bound：定义允许的穿透下限。

当 Options 项选择 Nonadaptive 时，有两个不同的参数：Friction Coeff. Y 和 Friction Coeff. Z，用来定义当单元沿单元的局部坐标 Y、Z 方向滑动时的滑动摩擦系数。

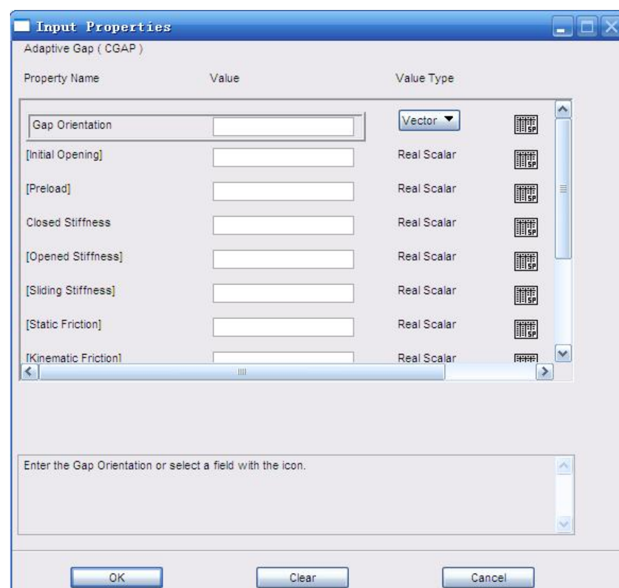


图 6-10　GAP 单元的输入面板

6. 1D Mass 单元（Action>Create，Object>1D，Type>1D Mass）

定义结构中的质量单元。

7. Rigid Line(LBC)单元（Action>Create，Object>1D，Type> Rigid Line(LBC)）

定义刚性的一维单元。

8. Bush 单元（Action>Create，Object>1D，Type> Bush）

用多个参数定义一个弹簧-阻尼器系统。单击 Input Properties 按钮，打开如图 6-11 所示的输入面板，各参数的含义如下：

◆ Bush Orientation：指定单元的方向（定义局部坐标）。

◆ Offset Location：指定弹簧-阻尼器在轴线上的位置分数。其数值在 0~1 之间。

◆ Offset Orientation Sym.：当弹簧-阻尼器不在单元轴线上时，定义弹簧-阻尼器的偏

移量。

◆ Offset Orientation Vector：定义弹簧-阻尼器的偏移坐标系中的位置，如果没有偏移，此项可以忽略。

◆ Spring constant (1~6)：定义在不同自由度上弹簧的刚度。

◆ Stiff. Freq. Depend(1~6)：定义在不同自由度上的频率。

◆ Stiff Force Disp.(1~6)：定义单元每个自由度上，非线性的力-位移曲线。

◆ Damping Coefficient (1~6)：定义单元在各自由度上的阻尼系数。

◆ Structural Damping：指定结构阻尼系数。

◆ Strain Recovery Translation/Rotation：定义应变恢复系数。

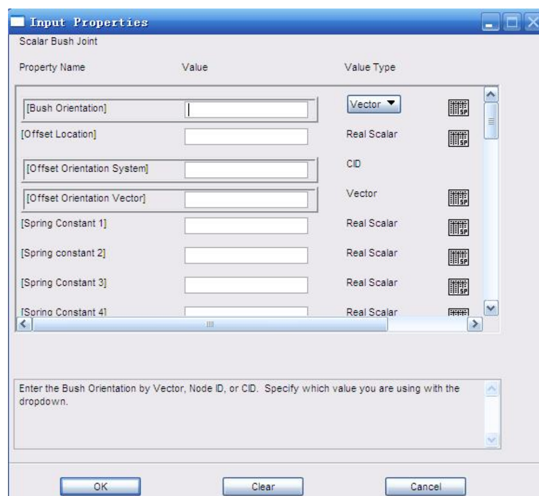


图 6-11　BUSH 单元的输入面板

6.2.3　2D 单元属性

单击 ***Properties*** 应用工具按钮，在快捷工具栏中 2D Properties 对应面板上的命令为：Action>Create，Object>2D。如图 6-12 所示，可以定义的 2D 单元类型的种类共有 5 种：

（1）Shell 单元：创建板壳单元。Option 用以控制不同的单元材料类型和运算方法。当 Option 选项选择 Thin、Homogenous 和 Standard Formulation 时，单击 Input Properties 按钮，打开如图 6-13 所示的输入面板，各参数的含义如下：

- Material Name：定义单元使用的材料。
- Material Orientation：定义材料在单元中的方向。
- Thickness：定义单元的厚度。
- Nonstructure Mass：定义单元的非结构质量。
- Plate Offset：单元的参考平面相对于节点确定的平面的偏移量。
- Fiber Dist. 1(2)：单元的参考平面到单元平面的最上点和最下点之间的距离。

当 Option 选项选择 Laminate 选项时，定义复合材料板壳模型。当 Option 选项选择

Equivalent Section 选项时，用当量截面分别定义板壳的抗拉压、抗弯、抗剪材料性能。

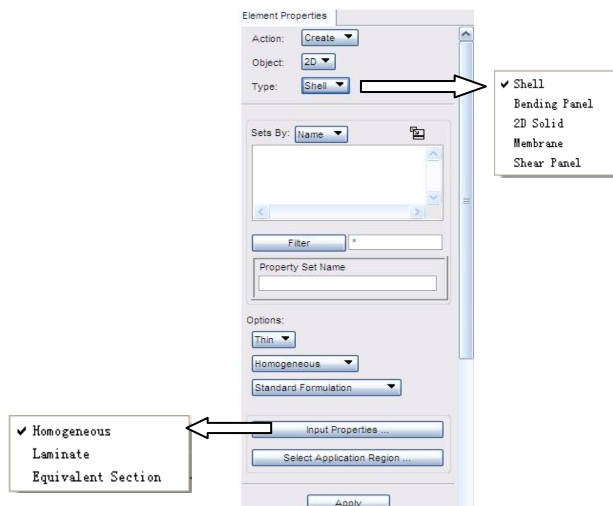


图 6-12　创建二维单元属性的面板

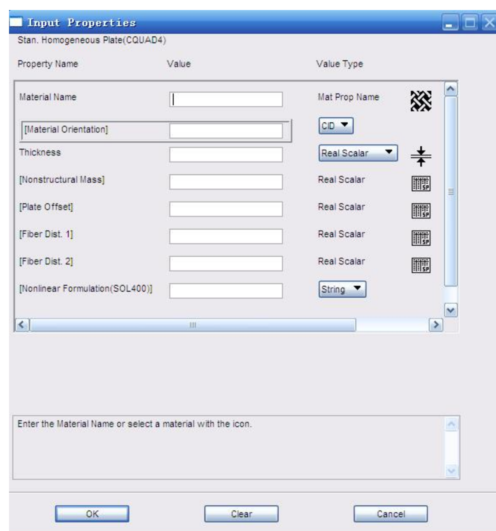


图 6-13 创建各向同性的板壳单元

（2）Bending Panel（Action>Create，Object>2D，Type> Bending Panel）：定义抗弯的板单元。

（3）2D Solid 单元（Action>Create，Object>2D，Type>2D Solid）：定义平面应变单元。当分析对象满足一定的条件时，可以把 3D 问题转化为 2D 问题来分析，如平面应变问题、轴对称问题。如图 6-14 所示，当 Option 选择 Plane Strain 选项时，定义平面应变问题；当 Option 选择 Axisymmetric 选项时，为轴对称问题。

（4）Membrane 单元（Action>Create，Object>2D，Type>Membrane）：定义薄膜单元，薄膜单元是一种 2D 单元，其承受拉压或者弯矩。一般薄膜附着在 3D 单元的表面，其厚度非常小。

（5）Shear Panel 单元（Action>Create，Object>2D，Type>Shear Panel）：定义剪切板单元，其只承受剪力。单击 Input Properties 按钮，打开如图 6-15 所示的输入面板：Extensional Stiff. 12 定义 1-2 方向的剪切刚度；Extensional Stiff. 14 定义 1-4 方向的剪切刚度。



图 6-14　定义 2D Solid 单元

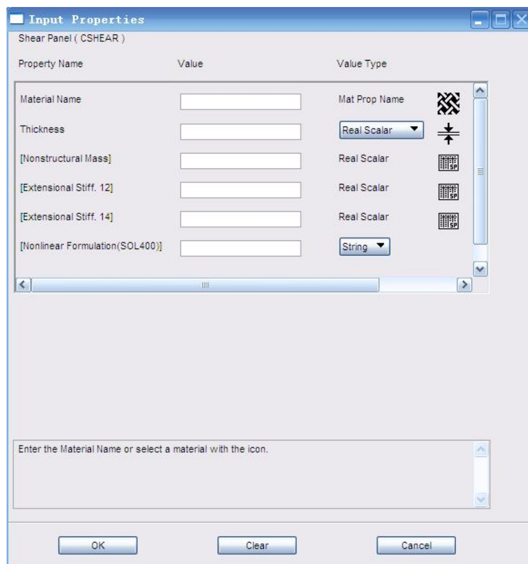


图 6-15　定义剪切板单元

6.2.4　3D 单元属性

单击 ***Properties*** 应用工具按钮，在快捷工具栏中 3D Properties 对应面板上的命令为：Action>Create，Object>3D。如图 6-16 所示，可以定义的 3D 单元类型的种类只有一种 Solid。

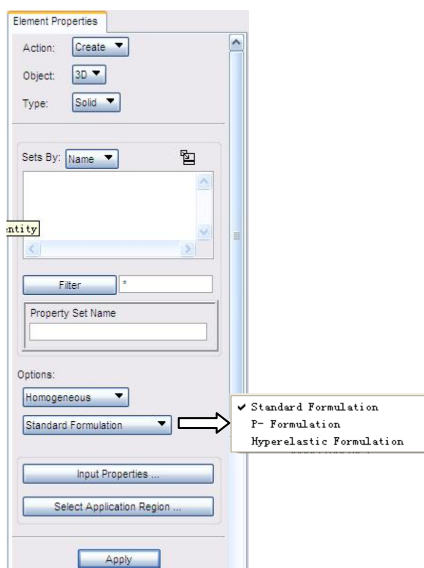


图 6-16　创建三维单元属性的面板

当 Option 选择不同的选项时，对应的网格拓扑形式和输入参数也不同。Standard Formulation 选项对应的网格拓扑类型有 Tet4、Tet10、Wedge6、Wedge15、Hex8、Hex20；P-Formulation 选项对应的网格拓扑类型有 Tet4、Tet10、Tet16、Tet40、Wedge6、Wedge15、Wedge24、Wedge52、Hex8、Hex20、Hex32、Hex64；Hyperelastic Formulation 选项对应的网格拓扑类型是 Tet 和 Hex。下面以 Standard Formulation 为例，单击 Input Properties 按钮，打开如图 6-17 所示的输入面板，简介各参数的含义：

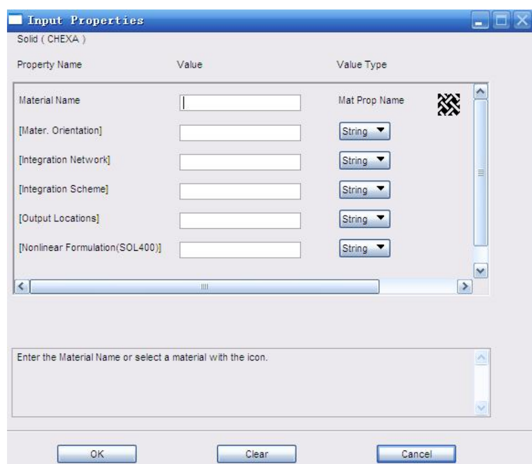


图 6-17　定义 3D 单元

- Material Name：单元所用的材料。
- Mater. Orientation：定义非各向同性材料在单元中的方向。
- Integration Network：选择积分网络。
- Integration Scheme：选择积分方法。
- Output Locations：定义单元计算结果的输出。

6.3　梁的显示

对于 Beam、Bar 单元而言，如果满足以下条件，可以将 1D 梁以 3D+偏置的方式显示，这样可以检查梁单元参数的正确性，要满足的两个条件是：

（1）通过梁截面库定义的梁截面特性。

（2）创建单元属性时，按下 Associate Beam Section。

在主菜单上选择 Display>Load/BC/Elem. Props.，如图 6-18 所示，将梁的显示方式置换成 3D: FullSpan+Offsets，梁的显示如图所示。

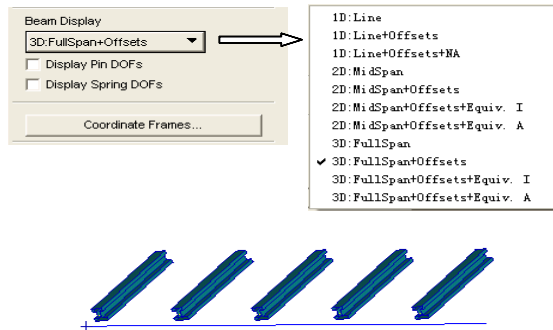


图 6-18　梁单元的显示

6.4　显示检查单元属性

创建单元的属性，并且与具体的单元相关联，就建立了完整的有限元模型。通过 Show（单击快捷工具栏 Property Actions 中的 Show Property 按钮）可以显示单元属性及其对应的单元信息，显示检查单元属性的步骤为：

（1）在 Existing Properties 中选择单元属性的名称。

（2）Display Method 选项中，选择显示方式，共有 4 种显示方式，分别为 Table、Marker Plot、Vector Plot、Scalar Plot，其含义分别是以表格、图符、矢量和云图来显示。

（3）显示想要显示的组。

（4）单击 Apply。

图 6-19 所示的是检查平板厚度的结果。

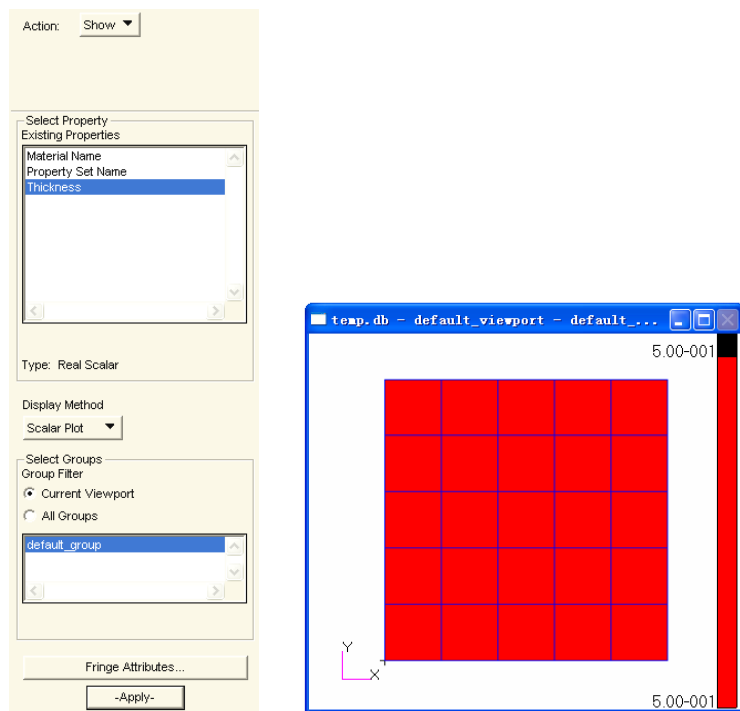


图 6-19　显示检查单元属性

6.5　托架线性静力分析全程实例——定义单元属性

本节接 5.5 节内容，定义实体单元属性。具体操作如下：

（1）点击工具栏 Properties 下的 Solid 按钮，打开如图 6-20 所示 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=3D，Type=Solid。

（2）如图 6-20 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 3D_tets。

（3）如图 6-20 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 6-21 所示的 Input Properties

对话框。点击 Material Name 右侧的按钮，打开 Select Material 窗口，点击选择列表中的 Aluminum，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 6-20 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 6-22 所示的 Select Application Region 页面。点击 Select Members 输入框，在 Picking Filters 工具栏中点击 Solid 按钮，在图形区域内选择全部实体，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 6-20 所示，点击 Apply 按钮，完成实体单元属性定义。

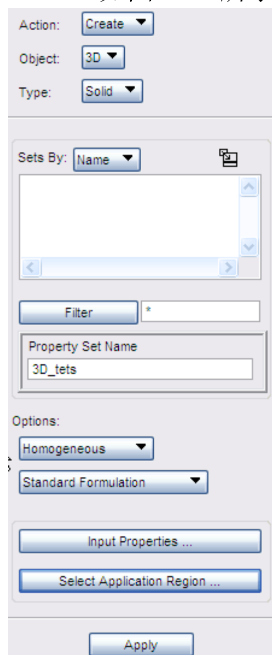


图 6-20　Element Properties 页面

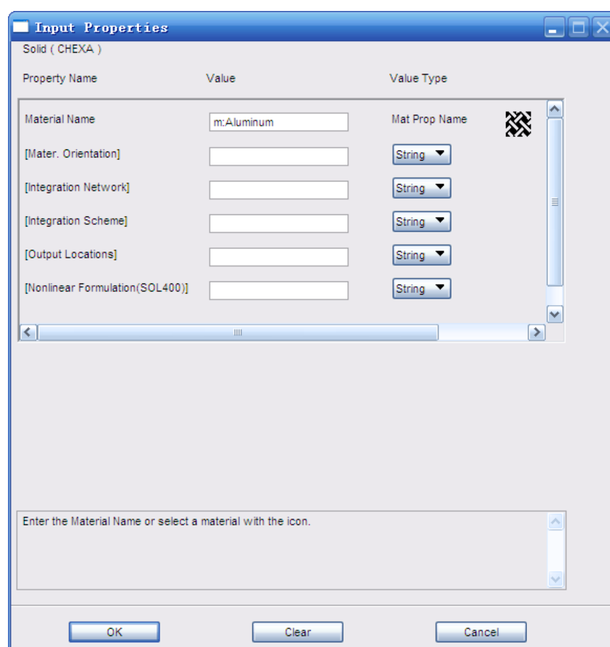


图 6-21　Input Properties 页面

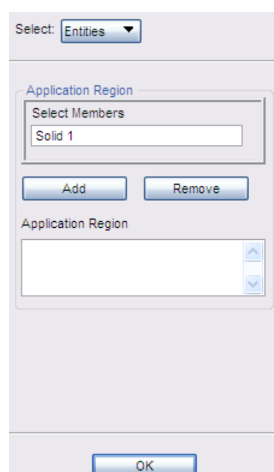


图 6-22　Select Application Region 页面

第 7 章　工况及边界条件

内容导航



在划分完网格后要对模型施加载荷/边界条件，根据分析类型的不同创建不同的载荷/边界条件，同时根据需要可以选择把载荷/边界条件施加在有限元模型上，或施加在几何模型上。

通过本章的学习，读者可以掌握结构分析载荷/边界条件、热分析载荷/边界条件和对载荷/边界条件的创建、显示、修改等操作。

重点剖析

* 结构分析载荷/边界条件
* 热分析载荷/边界条件
* 载荷/边界条件的创建、显示、修改

7.1　概述

载荷/边界条件是有限元分析中不可缺少的部分，网格划分完成之后，就可以施加载荷/边界条件了。Patran 中的载荷/边界条可以直接施加到有限元模型，如果几何模型与有限元模型相关，也可施加到几何模型上。创建载荷/边界条件的方法会根据分析求解器的不同而不同，对于变化的载荷/边界条件可以用场来定义，本章仍以 Nastran 求解器为例加以说明。

单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮，打开如图 7-1 所示定义载荷/边界条件的界面，就可以

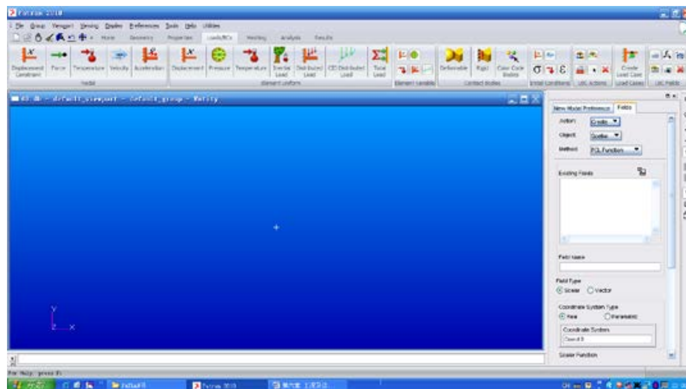


图 7-1　创建载荷/边界条件的界面

结合利用操作面板区命令（如图 7-2）和快捷工具按钮栏（如图 7-3）迅速准确地创建载荷/边界条件。Patran 中的每个载荷/边界条件都被称为一个 set，set 也就是给载荷/边界条件命名，该名称是唯一的，每个 set 都是一个数据集，与分析类型和几何模型/有限元模型相关，set 所包含的信息可以用符号在屏幕上显示，这些信息主要包括类型、大小、方向等，也可以通过云图的方式显示，参见本章第 4 节。

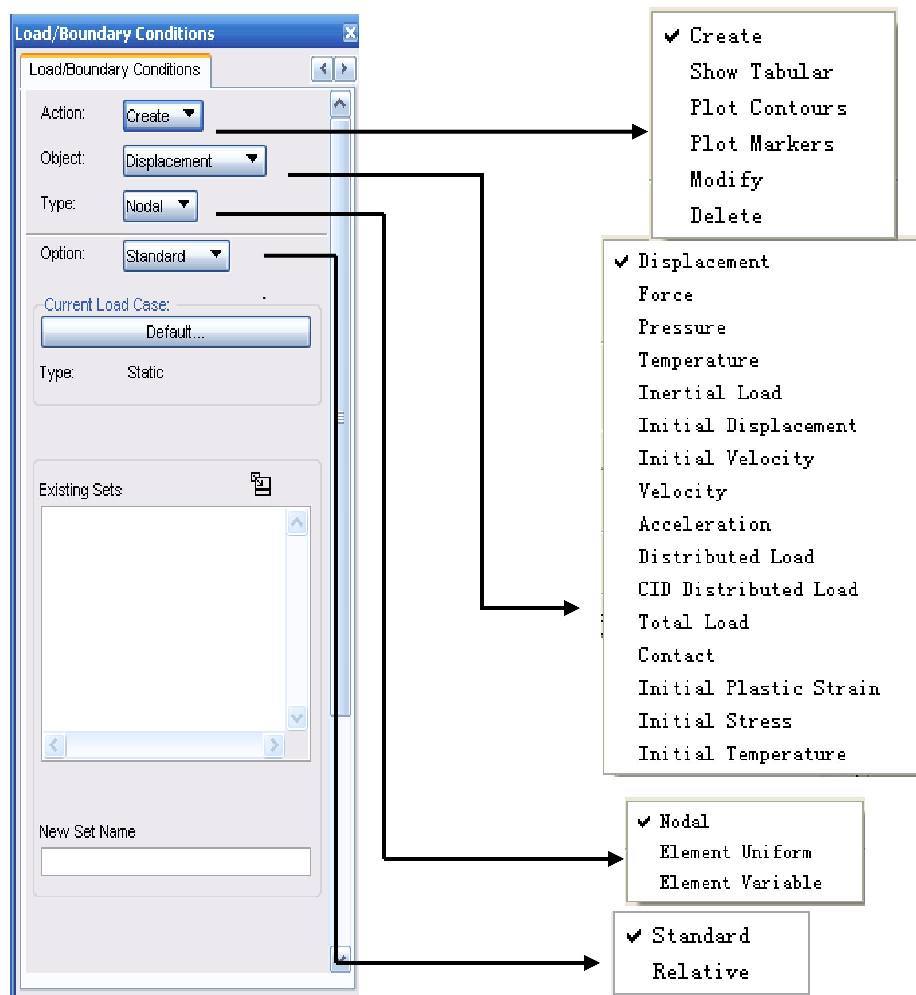


图 7-2　创建载荷/边界条件的操作面板



图 7-3　创建载荷/边界条件的快捷工具栏

7.2　载荷/边界条件的创建、显示、修改、删除

结构分析时创建、显示、检查、修改、删除载荷/边界条件快捷工具按钮及其说明如表

7-1 所示。

表 7-1

类型	图标	类　　型	说　　明
Nodal		Displacement　Constraint	固定节点或施加强迫位移
		Force	在节点处施加力
		Velocity	动力分析时定义节点速度
		Temperature	节点温度
		Acceleration	动力分析时定义节点加速度
Element Uniform		Displacement	固定均匀单元或施加强迫位移
		Pressure	均匀 2D 或者 3D 单元上的面压力
		Temperature	均匀单元温度
		Inertia Load	定义惯性载荷（例如重力、离心力等）
		Distributed Load	均匀 1D 或者 2D 单元上的线压力
		CID Distributed Load	
		Total Load	定义总载荷
Element Variable		Displacement	固定变量单元或施加强迫位
		Pressure	变化 2D 或者 3D 单元上的面压
		Temperature	变量单元温度
		Distributed Load	变化 1D 或者 2D 单元上的线压力
		CID Distributed Load	
Contact　Bodies		Deformable	定义弹性接触
		Rigid	定义刚性接触
		Color Code Bodies	定义轮廓
Initial Conditions		Displacement	初始位移
		Velocity	初始速度
		Stress	预应力
		Temperature	初始温度
		Plastic Strain	塑性应变
LBC Conditions		Plot Markers	图符显示载荷/边界条件
		Plot Contours	云图显示载荷/边界条件
		Show Tabular	表格显示载荷/边界条件
		Modify	修改载荷/边界条件
LBC Conditions		Delete	删除载荷/边界条件
Load Cases		Create Load Case	创建载荷

（续）

类型	图标	类　　型	说　　明
LBC Fields		Create Spatial	创建空间场
		Create Spatial Function	创建空间场函数
		Create Non-Spatial	创建非空间场
		Show Field	显示场
		Modify Field	修改场
		Delete Field	删除场

7.2.1　创建载荷/边界条件的步骤

（1）从快捷工具按钮中选择合适的载荷及位移边界条件，如 Nodal Displacement、Element Uniform Pressure 等。

（2）在操作面板区选择应用上述边界条件的工况。

（3）创建边界条件的名称，建议不要超过 31 字符。

（4）单击 Input Data…按钮打开如图 7-4 所示输入数据面板，输入相关的数据。输入框中输入<-50 -100 0>表示 X 方向的位移为-50，Y 方向的位移为 100，Z 方向固定。旋转输入框中输入< ,0,0>表示绕 X 轴的旋转自由度放开，绕 Y、Z 轴的旋转自由度固定。

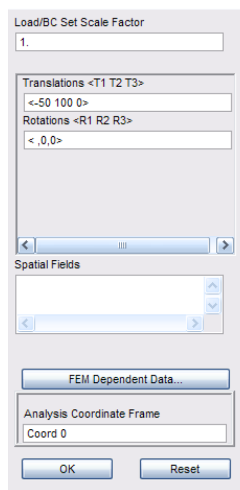


图 7-4　输入数据面板

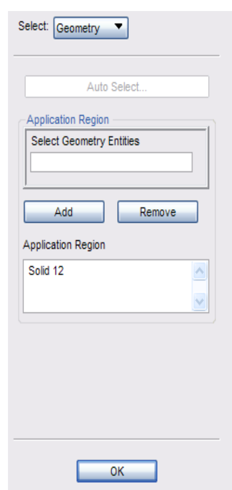


图 7-5　施加边界条件的区域

（5）单击打开 Select Application Region…按钮，打开边界条件施加的区域，如图 7-5 所示，边界条件可以施加在几何实体（Geometry）或者有限元实体（FEM）上，在 Select Geometry Entities 选项框中，选择模型的各种应用区域，如边、曲线、面或者实体等，单击 Add 按钮，将 Application Region 输入框中的内容添加到 Application Region 框中，单击 OK 按钮，接受 Application Region 框的内容，同时关闭该面板。如果选择将边界条件

施加到有限元实体上，其步骤与施加到几何实体上相同，只是选择的对象不同，有限元实体主要包括：节点、单元（1D 单元、2D 单元及其边、3D 单元及其表面等等）。

7.2.2　显示、检查边界条件

Patran 中不但可以创建多种载荷和边界条件，也可以以多种方式将它们显示出来，可以图符形式（ Plot Markers）显示出来以确认边界条件创建成功；或是以表格的方式(Show Tabular)显示出来，以检查边界条件各参数的正确性；或是以云图的方式(Plot Contours)显示标量的分布。常用图符的含义如图 7-6 所示。

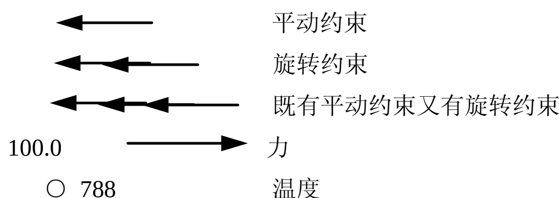


图 7-6　常用图符的含义

7.2.3　修改、删除边界条件

当创建边界条件后，如果需要，可以对其修改，单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮下的（Modify），可以对创建的边界条件的名称、数据以及作用对象进行修改。若要改变原 set 的名称，则可在 Rename Set Name 中输入新的名称；如果要修改数据则打开 Modify Data…按钮，重新输入数据即可；如果要修改载荷或边界条件的作用对象，可以打开 Modify Application Region…按钮，重新输入作用对象。

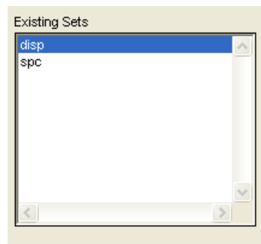


图 7-7　已创建的位移边界条件列表

当不再需要某个载荷或边界条件时，可将其删除。Create 中创建的所有载荷和边界条件都可以被删除。打开***Loads/BCs***应用工具按钮下的（Delete），在 Object 中选择要删除的载荷或边界条件的类型，例如Displacement，所有定义的 Displacement 都会显示在 Existing Sets 中，如图7-7 所示，选择要删除的某一个，则选中的会显示在 Sets to be Deleted 框中。选定了之后，单击 Apply 按钮，则选定的对象就会被删除。

7.3　应用实例

下面通过两个实例练习一下创建边界条件的步骤和方法。

7.3.1 创建平板位移边界条件实例

如图 7-8 所示，平板一端固定，另一端悬置，试创建该端的位移边界条件。

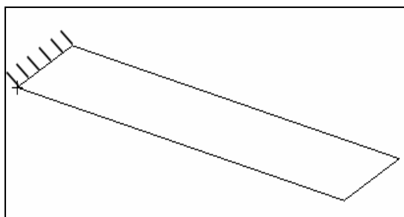


图 7-8 几何模型

（1）单击工具按钮(Action>Create,Object>Displacement,Yype>Nodal)，打开 Create> Displacement>Nodal 面板，并输入边界条件的名称。

（2）单击打开 Input Data…按钮，平移输入框中输入<0 0 0>表示将三个平移自由度全部约束，旋转输入框中输入<0 0 0>表示将三个旋转坐标全部约束，接着打开 Select Application Region…按钮，选择施加边界位移条件的方式为 FEM，拾取固定端的节点，如图 7-9 所示。

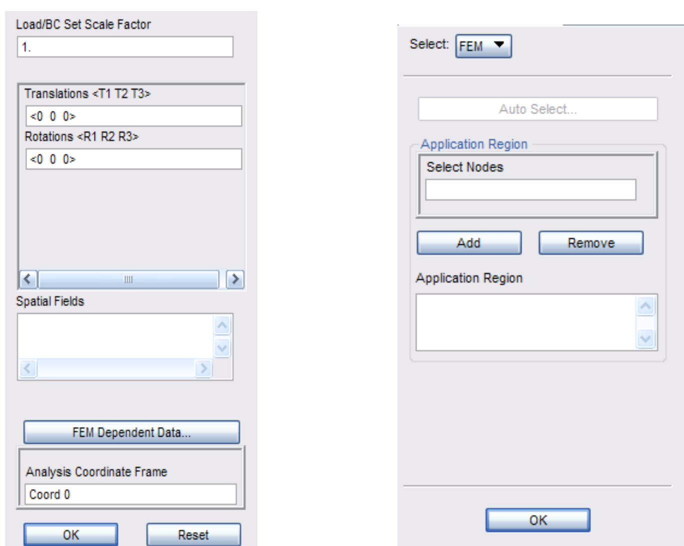


图 7-9 数据输入及应用区域选择设置

（3）创建完成的模型如图 7-10 所示。

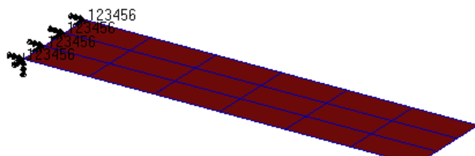


图 7-10 创建位移边界条件后的视图

7.3.2　创建径向载荷实例

如图 7-11 所示，在圆孔周围每个节点上施加沿径向方向的大小为 100 N 的力，并以表格的方式检查所创建的载荷。

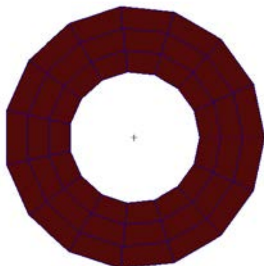
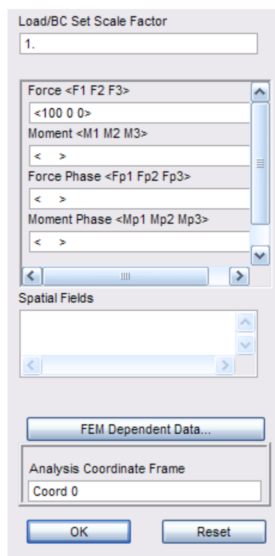
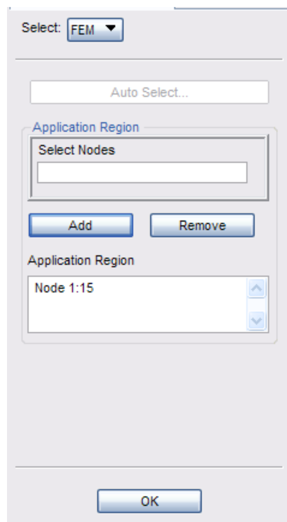


图 7-11　几何模型

首先创建一柱坐标系，然后单击工具按钮打开创建载荷面板，Action>Create, Object>Force，Type>Nodal，输入合适的名称后，依次单击 Input Data…按钮和 Select Application Region…按钮，进行相关的设置，如图 7-12 所示，创建完成后的视图如 7-13 所示；检查创建的载荷，单击工具按钮，操作面板区 Action> Show Tabular, Object>Force, 在 Existing Sets 框中选中创建的载荷，单击 Apply 按钮，检查结果如图 7-14 所示。





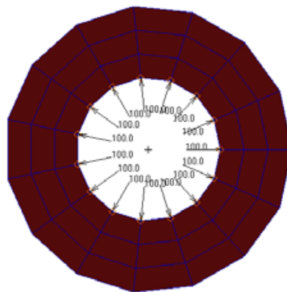


图 7-12　数据输入及应用区域选择设置　　　　图 7-13　加载后的视图

Loads/BC Table Show

Entity	Coordinate Frame	Scale Factor	Force F1	Force F2	Force F3	Moment M1
Node 1	1	1.	100.	0.	0.	
Node 2	1	1.	100.	0.	0.	
Node 3	1	1.	100.	0.	0.	
Node 4	1	1.	100.	0.	0.	
Node 5	1	1.	100.	0.	0.	
Node 6	1	1.	100.	0.	0.	
Node 7	1	1.	100.	0.	0.	

OK

图 7-14　检查创建的载荷

7.3.3　施加变化的载荷实例

在 1/4 圆柱面上施加按 68.6cos(a)规律变化的载荷，并用云图的方式检查创建的载荷。

首先创建一柱坐标；单击应用工具按钮(Action>Create，Object>Spatial，Method> PCL Function)，如图 7-15 所示，在 Fields Name 中输入 f1，在 Coordinate System 输入框中输入创建的柱坐标 Coord 1，68.6*COSR(‘T)，单击 Apply，如图 7-16 所示，完成空间场的创建。

单击 element uniform应用工具按钮(Action>Create，Object>Pressure，Type>Element Uniform)，输入相应的文件名，单击打开 Input Data…按钮，点击 Top Surface Pressure，然后单击 Spatial Fields，选项框中定义好的空间场 f1，单击 OK；接着单击 Select Application Region…按钮，选中所有的单元，单击 Apply，创建完成后如图 7-17 所示。下面检查创建的载荷，单击工具按钮(Action> Plot Contours, Object>Pressure)，在 Existing Sets 框中选中创建的载荷，单击 Apply 按钮，检查结果如图 7-18 所示。

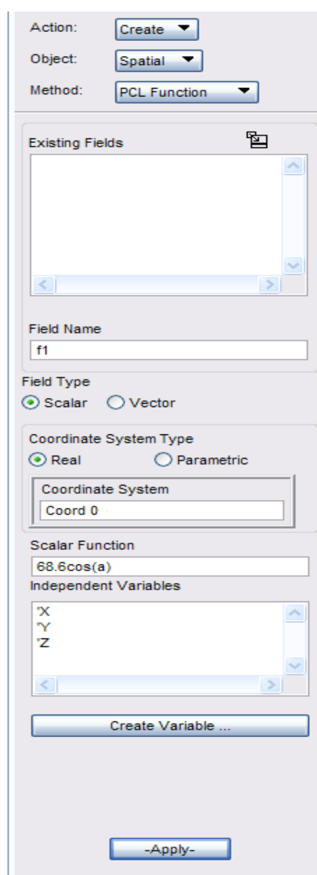
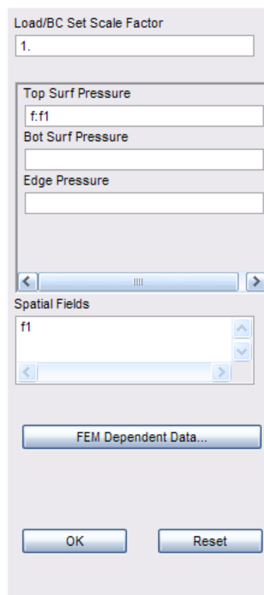


图 7-15　定义空间场



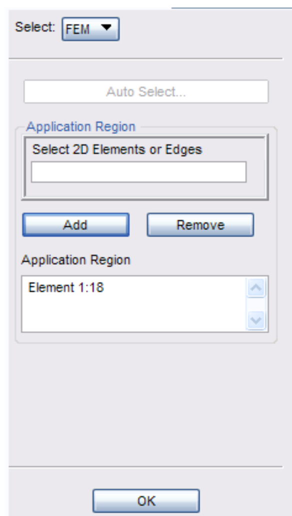


图 7-16　数据输入及应用区域选择设置

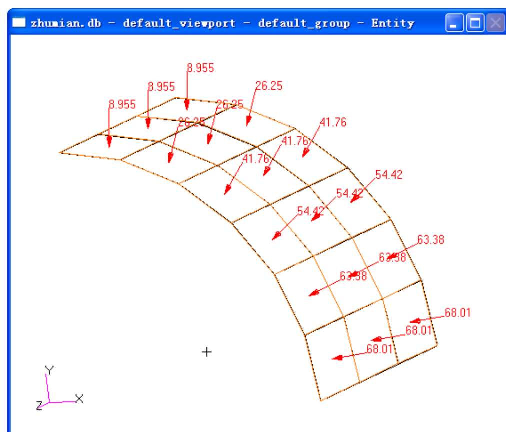


图 7-17　完成创建载荷

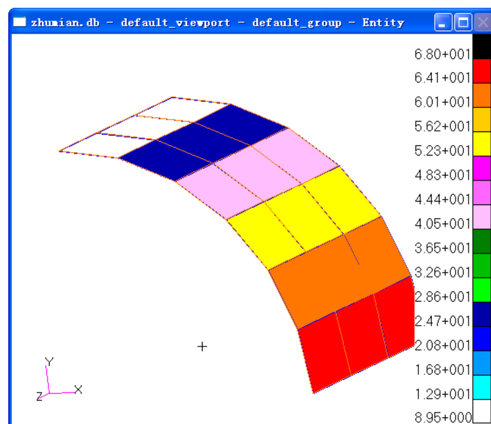


图 7-18　检查所创建的载荷

7.4　托架线性静力分析全程实例——定义边界条件

本节接 6.5 节内容，定义边界条件。

7.4.1　定义位移边界条件

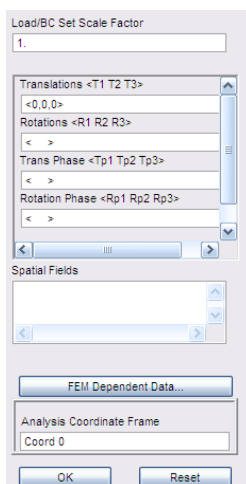
底座圆孔内壁面为全约束，故在销孔面上定义位移约束条件，约束所有实体自由度。

（1）点击工具栏上的 Load/BCs 按钮，打开如图 7-19 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Type=Nodal。

（2）如图 7-19 所示，在 New Set Name 文本框中输入 fixed。

（3）如图 7-19 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 7-20 所示的 Input Data 页面。在 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<0,0,0>，点击 OK 按钮退出页面。





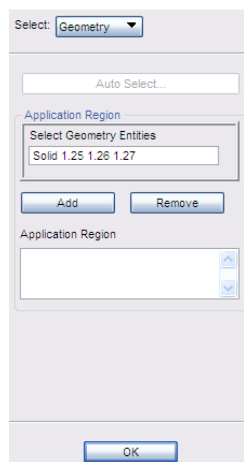


图 7-19　Load/Boundary Conditions 页面　图 7-20　Input Data 页面　图 7-21　Select Application Region 页面

（4）如图 7-19 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 7-21 所示的 Select Application Region 页面。点击 Select Members 输入框，在 Picking Filters 工具栏中点击 Surface or face 按钮，在图形区域内选择活塞销孔面 Solid 1.25 1.26 1.27，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 7-19 所示，点击 Apply 按钮生成位移边界条件。

7.4.2 定义载荷边界条件

（1）在如图 7-22 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Total Load，Type=Element Uniform。

（2）如图 7-22 所示，在 New Set Name 文本框中输入 force。

（3）如图 7-22 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 7-23 所示的 Input Data 页面，在 Load 文本框中输入<-5000 0 0>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 7-22 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 7-24 所示的 Select Application Region 页面。点击 Select Solid Faces 输入框，在 Picking Filters 工具栏中点击 Free face of a solid 按钮，在图形区域内选择活塞顶面 Solid 1.1，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 7-22 所示，点击 Apply 按钮，完成载荷的定义，得到如图 7-25 所示的有限元模型。

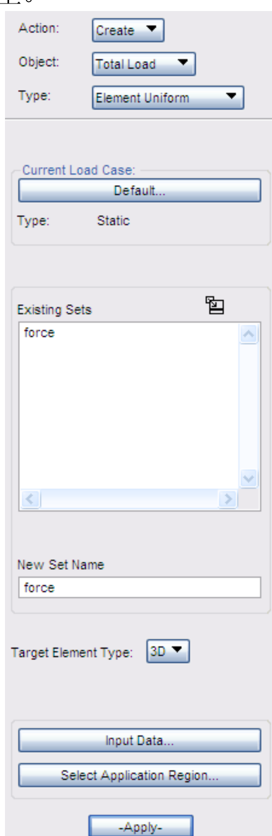


图 7-22 Load/Boundary Conditions 页面

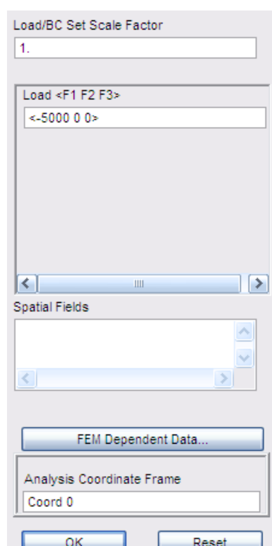


图 7-23 Input Data 页面

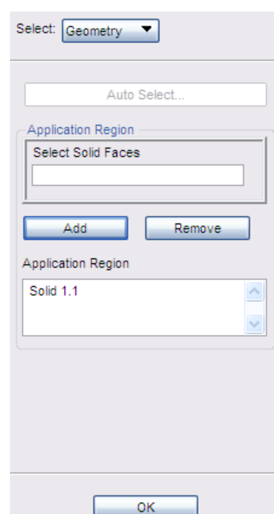


图 7-24 Select Application Region 页面

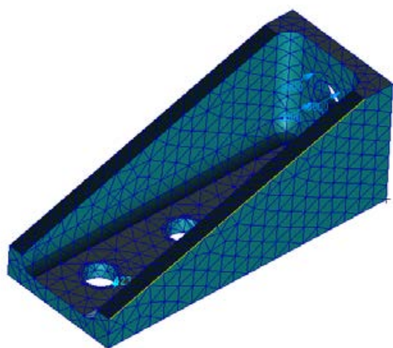


图 7-25　有限元模型

第 8 章　分析控制

内容导航



建立了完整的有限元模型后，可以提交运算。分析控制就是对建立的模型指定控制信息，生成求解器的输入文件，提交求解器进行运算分析，生成结果文件并将其读入，以备结果后处理。

通过本章的学习，读者可以掌握 Patran 建模后提交 Nastran 分析的流程、分析结果的读取以及优化分析的设置等。

ᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕ

重点剖析

* 如何设定分析环境并求解
* 分析结果的读取
* 优化分析的设置

ᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕᔕ

8.1　概述

在几何模型、有限元网格、材料属性、边界条件、单元属性等建立完毕之后，就建立了完整的有限元模型，可以递交运算进行分析了。本章讨论的问题是对建立的有限元模型指定控制信息，生成对应求解器的输入文件，提交解算器运算分析，生成分析结果文件，并将其读入，以备显示分析结果之用。

对于不同的分析求解器和分析类型，***Analysis*** 应用工具按钮对应的操纵面板也有所不同，这里以 Nastran 的结构分析为例进行说明。

Analysis 的快捷工具栏如图 8-1 所示。



图 8-1　分析控制的快捷工具栏

在分析控制面板中，Action 选项包括 Analyze、Optimize、Toptomize、Access Results、Read Input File、Delete、Monitor 和 Run Demo，其含义分别是分析求解、优化分析模型、拓扑优化、获取分析结果、读入分析模型、删除分析工作、查看运算过程文件、运行实例，

如图 8-2 所示。Object 选择模型的哪一部分分析，可以是整个模型，也可以是模型的一部分。Method 选项用来定义分析进行的程度，可以是 Full Run、Check Run 等。根据工况的不同，一个模型可以进行多个不同的分析，每次分析工作都要有一个名称来标识，在 Job Name 中输入分析的名称。Translational Parameters…转换参数的设置，Solution Type…显示求解类型并选择所期望的类型进行求解，在默认情况下是线性静力学分析。Direct Text Input…直接输入 Nastran 格式的文本文件。Subcases…可以设置所需的求解参数。

8.2 设定分析环境并提交计算

8.2.1 转换参数设置

单击按钮（***Analysis***，Action>Analyze，Object>Entire Model，Method>Full Run），再单击 Translation Parameters…打开如图 8-3 所示的面板，下面简介各参数的意义：

◆ Tolerances：共有三组参数，各参数的含义分别是：Division 防止出现 0 作除数的情况；Numerical 判断两个实数是否相等；Writing 确定生成 Bulk Data 时，一个值是否近似为 0。

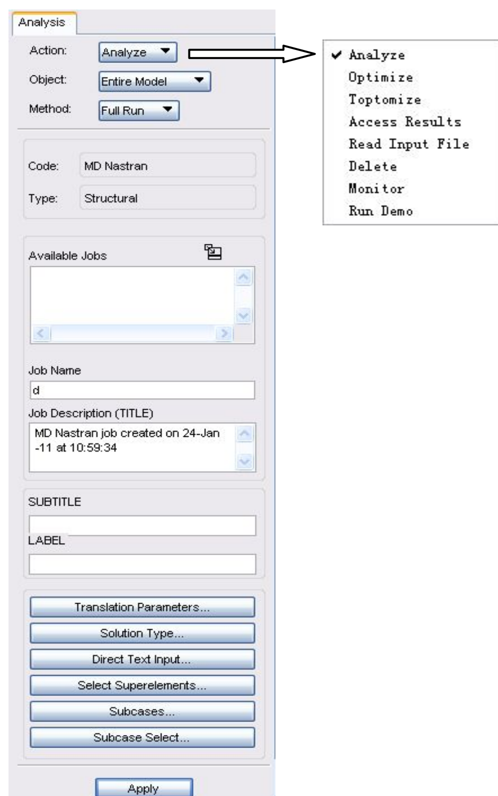


图 8-2　分析控制面板

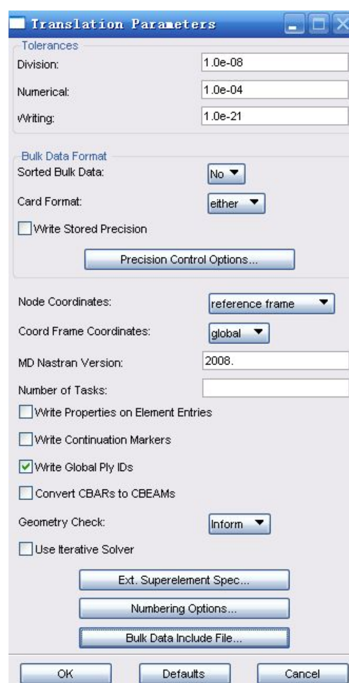


图 8-3　转换参数面板

- Card Format：定义 Bulk Data 输入场的格式。
- Precision Control Options：精度定义，保留小数的位数。
- Node Coordinates：选择生成节点时的坐标系。
- MD Nastran Version：选择使用 Nastran 的版本。
- Number of Tasks：指定分析所用处理器的数目。
- Write Properties on Element Entries：将所有单元的属性写入单元卡。
- Write Continuation Markers：将附加的图符写进 Bulk Data 的输入中。
- Covert CBARS to CBEAMs：将 CBAR 单元类型转换成 CBEAM 单元类型。
- Use Iterative Solver：使用迭代计算方法。

8.2.2　分析类型的设置

单击 Solution Type...按钮，打开其对应的面板，可以选择分析的类型，如图 8-4 所示。该面板中显示了 Nastran 支持的所有结构分析类型，包括线性静态、非线性静态、正则模态、屈曲、复特征值、频率响应、瞬态响应、非线性瞬态响应等。

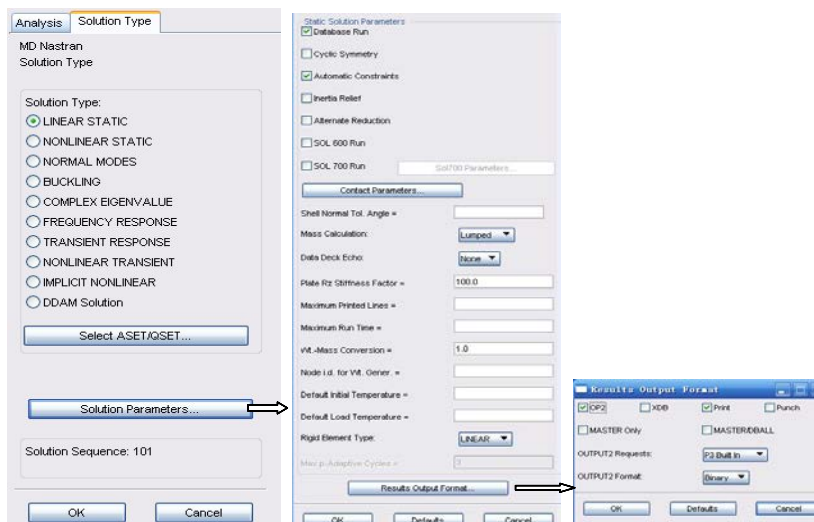


图 8-4　设置分析类型

单击 Solution Parameters…按钮，打开求解参数设置面板，不同的求解类型要求不同的参数设置。其参数设置将在后面实例中结合实例进行讲解。

单击 Results Output Format…进入输出文件格式的设置，定义 Nastran 输出文件的格式。Print 表示将数据写入输出文件 f06 中，OP2 表示将数据写入输出文件.OP2 中，XDB 表示将输出数据输入到.XDB 中。当选中 OP2 时会弹出 Output2　Requests 和 Output2 Format 选项。Output2　Requests 其对应 4 种选择，各选择的意义如下：P3 Built in 表示使用 Nastran 内部的 OUTPUT2 命令与 Patran 相连；Alter File 指使用外部的交换文件，这些文件在 Patran 的文件目录下；CADA-X Alter 类似于 Alter File，但其以 LMS CADA-X 为交换文件，该文

件以.lms 为扩展名；P2 Built in 指定以 Nastran 的内部命令与 Patran 相连。Output2 Format 表示的含义是指定结果文件.OP2 的格式，可以是二进制格式、也可以是文本格式。

完成以上设置后，单击 Apply 按钮，开始计算求解，同时系统弹出 DOS 窗口，提示求解信息，求解完成后，系统会报出提示音，同时在 DOS 窗口中显示相关的信息。

8.2.3 Subcases 的定义

Subcases 是一组载荷、边界条件和输出要求以及其他参数的集合，一个 Subcase 可以进行一次完整的分析。其操作面板如图 8-5 所示，默认情况下 Patran 自动地将已经定义的工况与默认参数和输出要求相关联，在图 8-5 中可以看到 Available Load Cases 框中显示两种定义好的工况，分别为 Struct 和 Thermal，同时在 Available Subcases 框中以这些工况名称为默认 Subcase 的名称，用户也可以创建新的 Subcase。

定义完成 Subcase 后通常还要定义 Subcase 的参数设置和输出选项设置，单击 Subcase Parameters…按钮进行输出参数的设置，不同的分析类型要进行不同的参数设置，将在后面结合实例讲解；单击 Output Requests…按钮，弹出如图 8-6 所示的结果输出设置，在 Select Result Type 框中，显示了当前分析程序所有能够输出的各种计算结果，例如应力、应变、约束力、多点约束力、单元力、应变能等。用鼠标选择其中的某项，选中的项将会出现在 Output Requests 框中，表示在计算结果的文件中将输出该项，单击 Delete，可以删除选中的项，单击 OK 完成结果输出的设置。用户还可以打开高级(Advanced)选项进行更为详细地设置。

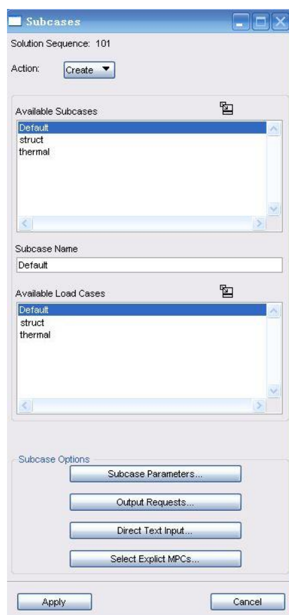


图 8-5　定义 Subcases



图 8-6　定义输出选项

8.2.4　Subcase Select



图 8-7　选择 Subcase

一个分析模型有时根据工况的不同要定义多个 Subcase，选中的 Subcase 将会在分析中执行，单击图 8-2 中 Subcase Select…按钮，打开如图 8-7 所示面板，已经定义好的 Subcase 都会显示在 Subcases For Solution Sequence 框中，通过鼠标点击进行选择，点击 Thermal 则该 Subcase 会出现在 Subcases Selected 框中。Select All 表示选中所有的 Subcase；Unselect All 表示不选任何 Subcase。

8.3 读取分析结果

Nastran 计算后，计算结果以文件的形式输出，可以是.op2 文件，也可以是.xdb 文件，通过 Read Output2 或者 Attach XDB 操作，可以将 Nastran 的输出文件读入到 Patran 的数据库中，或者与 MSC.Access 数据库建立联系。

8.3.1　读取分析结果

点击按钮（Action>Access Results, Object>Read Output2, Method>Results Entities），打开读取结果面板，如图 8-8 所示，单击 Select Results File…，弹出选择文件对话框，在对话框中，单击.op2 文件，单击 OK、Apply，将结果读入以便进行后处理。Read Output2 是在指定的控制参数的控制下，将数据从结果文件读入到 Patran 数据库中来，并转化成 Patran 可以表达的格式。

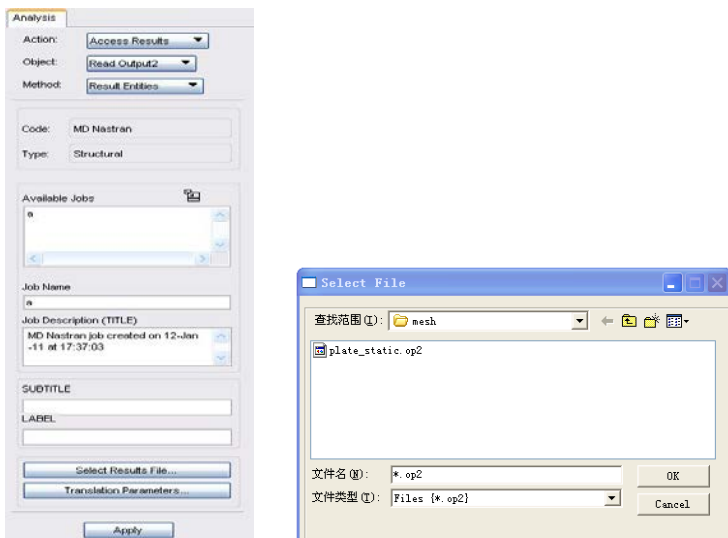


图 8-8　读取结果文件

8.3.2 将计算结果与 Patran 相关联

Attach XDB 是允许 Patran 访问分析结果数据库 MSC.Access，采用这种方式读取结果时，结果数据并没有直接读入到 Patran 数据库中，仅仅读入了一些标志性和说明性的数据。

点击按钮（Action>Access Results, Object>Attach XDB, Method>Results Entities），打开关联结果面板，如图 8-9 所示，单击 Select Results File…，弹出选择文件对话框，在对话框中，单击.xdb 文件，单击 OK、Apply 按钮，将结果读入以便进行后处理。

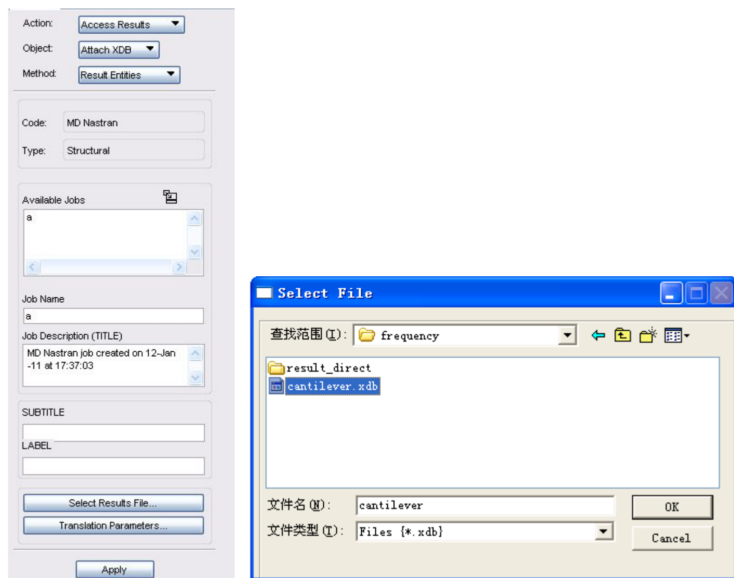


图 8-9　将结果与 Patran 关联

8.4 优化分析

进行优化设计首先要把实际的设计问题用数学表达式加以描述，即转化为数学模型，然后根据数学模型的特征，选择适当的优化算法及优化分析程序，利用计算机求得最优解。如何将实际的工程问题转化为数学模型，这是优化设计首先要解决的关键问题，解决这个问题必需要考虑到哪些是设计变量，这些设计变量是否受到约束，以及问题所追寻的结果是什么，即确定目标函数。设计变量、约束条件和目标函数是优化设计的三个基本要素。

Nastran 的优化设计可以由两种方式来实现，即 Patran 全部实现方式和手工书写数据方式。一般来说，在 Patran 环境中，可以处理简单一些的优化分析问题，优化变量可以是材料参数、单元特性参数和梁单元的截面特性参数。另一方面，手工书写数据方式有更大的灵活性，可以在 Patran 生成的有限元模型数据基础上，修改和添加必要的数据，实现尺寸优化和形状优化。下面结合杆的优化加以说明。

8.4.1　问题描述

目标函数：杆的重量最小
设计变量：杆的面积
约束条件：位移

8.4.2　创建设计变量

进入 Tools 菜单中的 Model Variables 对话框，打开定义模型变量的面板，创建模型变量的方法有 4 种，分别是 Value、Property、Beam Dimension 和 Material，以 Property 为例说明，定义一维杆单元的单元属性为模型变量，如图 8-10 所示，已经创建好的 Rod 单元的属性会出现在 Select Property Set 框中，用鼠标点击已存在的单元属性 Area，并在 Variable Name 中输入相应的模型变量的名称，单击 Apply 完成创建模型变量，该变量在优化分析中作为设计变量。

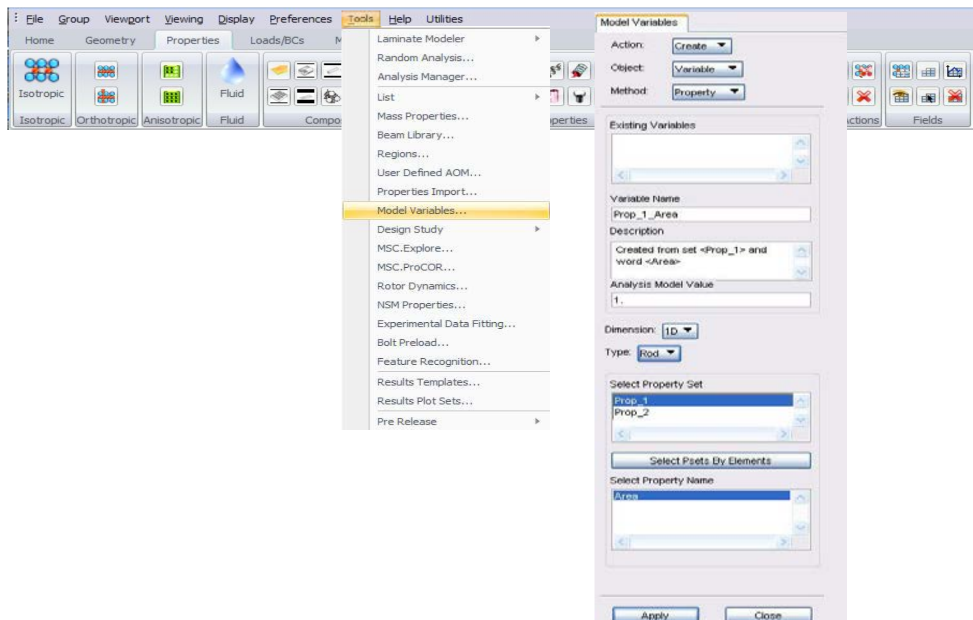


图 8-10　创建模型变量

选择 Tools 菜单中的 Design Study，打开 Design Study 对话框，如图 8-11 所示，Design Study 是一个优化分析设置对话框，即要求用户进行设计变量、目标函数和设计约束的设置，对于设计变量，用户可以指定其最大最小值，同时每一个变量都有一个变化极限值，这个值可以由用户输入，也可以由程序自动选取。在 Design Study Name 中输入 opti_1，单击 Select Design Variables…，弹出定义设计变量对话框，定义好的模型变量会出现在该对话框中，设置该变量的上下限，最后单击 OK，完成定义。

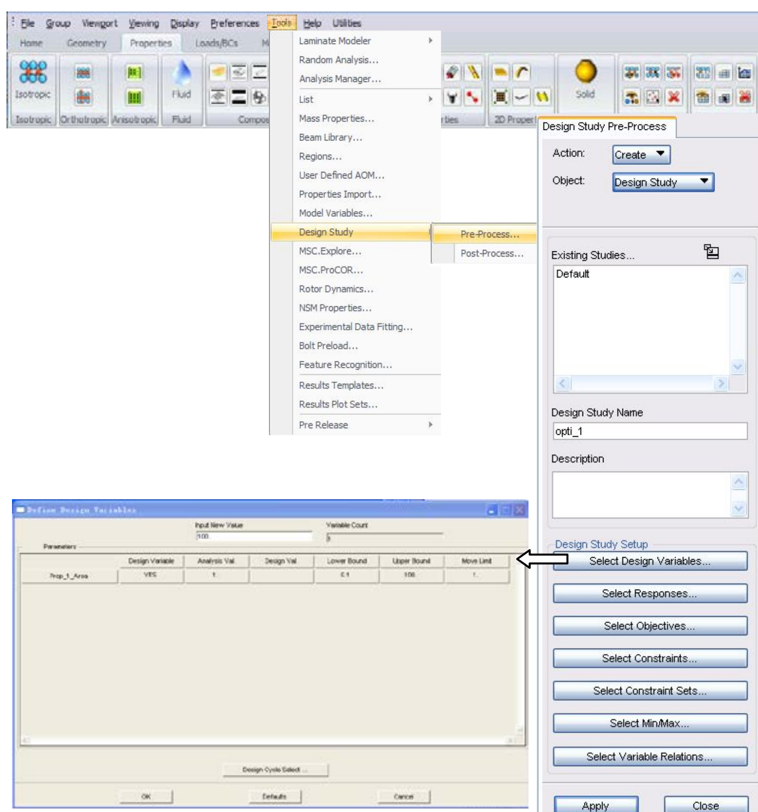


图 8-11　定义设计变量

8.4.3　创建目标函数

在 ***Design Study Pre-Process*** 模块下，Action>Create, Object>Objective，打开如图 8-12 所示面板，Solution 选择 Global，Response 选择 Weight，Min/Max 选择 minimize，单击 Apply 按钮；然后回到创建 Design Study 面板，单击 Select Objective…，选择定义好的目标函数，完成目标函数的创建。

8.4.4　创建约束条件

在 ***Design Study Pre-Process*** 模块下，Action>Create, Object>Constraint，打开如图 8-13 所示面板，目前 Patran 支持静态分析的位移和应力约束的直接设置，以及正则模态分析的频率约束设置。Solution 选择 Linear Static，Response 选择 Displacement，输入约束的名称，选择约束施加的区域并设定约束的上下限，最后单击 Apply 按钮完成约束条件的定义；然后回到创建 Design Study 面板，单击 Select Constraints…，选择定义好的约束条件，最后单击 Apply 按钮。



图 8-12　定义并创建目标函数



图 8-13 定义并创建约束条件

8.4.5　分析设置

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，进入分析对话框，Action>Optimize, Object>Entire Model, 如图 8-14 所示。单击 Design Study Select…按钮，选择已经定义的 opti_1；单击 Optimization Parameters…按钮，进入参数设置对话框，在 Standard Cycles(DESMAX)=输入框中设定最大循环次数；在 Print Every n-th Cycle where n=输入框中，输入控制写入.f06 文件数据的频率，当输入值为 0 时，表示只写入初始循环和最终循环结果，输出控制参数和求解参数的设置如图 8-15 所示。



图 8-14　分析求解



图 8-15　优化参数设置

8.4.6　分析求解

优化分析可以在 Patran 中直接提交 Nastran 进行分析，也可以生成分析所需要的数据文件，使用系统编辑器修改或者增加 Patran 不支持的内容后，再提交 Natran 进行分析。

8.5　托架线性静力分析全程实例——提交分析作业

本节接 7.4 节内容，进行有限元分析。具体操作如下：

（1）点击工具栏 Analysis 按钮，打开如图 8-16 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 8-16 所示，点击 Solution Type…按钮，打开如图 8-17 所示的 Solution Type 页面。注意到 Solution Type=LINEAR STATIC，点击 OK 按钮退出页面。

（3）如图 8-16 所示，点击 Apply 按钮，在 Patran 默认目录下生成 bdf 文件。点击 MSC Nastran2008 r1 图标，在弹出的对话框中选择 tension_fitting.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

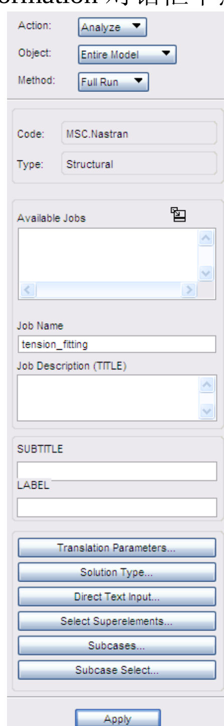


图 8-16　Analysis 页面

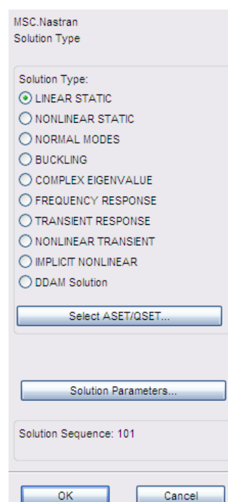


图 8-17　Solution Type 页面

第 9 章　结果后处理

内容导航



分析求解后要用多种方式处理有限元分析结果，使得计算结果更加直观有效。

本章主要讲述使用 Patran 中的 Results 模块进行结果后处理，通过本章的学习，读者可以掌握如何快速有效地进行结果显示，如何显示结果变形图、云图、图符、平面曲线图以及以动画、文本等多种方式处理有限元分析结果。

重点剖析

* 后处理的步骤
* 显示结果云图、变形图、平面曲线图
* 对后处理结果的修改、显示、删除

9.1　概述

Patran 中的后处理有两类，一类是在 ***Results*** 模块中进行的后处理，另一类是在 ***Insight*** 模块中进行的后处理，两者在后处理方法上有类似之处，只是后者更高级一些。本章讲述在 ***Results*** 模块中进行的后处理。

图 9-1 所示为后处理的快捷工具栏。

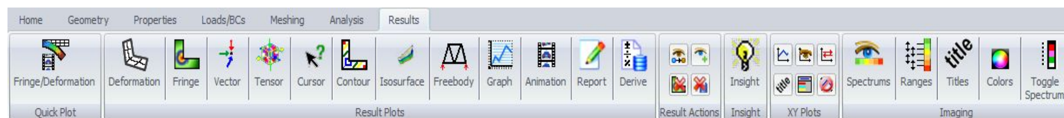


图 9-1　后处理的快捷工具栏

图 9-2 所示为后处理的主面板，当一种分析计算完成后，将结果读入到 Patran 中，在 Select Result Cases 中会显示相应的信息。在 Results 模块中可以多种方式显示分析结果，这些方式包括：结构变形图、云图、图符、自由体图、XY 平面曲线图以及动画方式、文本输出方式等。

Action 对应的选项有：Create、Use Templates、Modify、Plot 和 Delete。Create 用于创建图形显示、输出报告、制作动画等；Modify 用于对 Create 创建的对象进行修改；Plot 用于显示已有的图形；Delete 用于删除某类图形或者某个 Result Cases。

需要说明的是，在后处理的过程中，还应注意以下几点：删除数据时，应将其从所有包含该量的 Results Case 中删除；一个窗口只能与一个参考彩色谱和一个范围相关联，当有多个图形要显示时，参考彩色谱只能应用于当前显示的图形；不推荐从复数结果中计算不变量，因为其相位不确定。

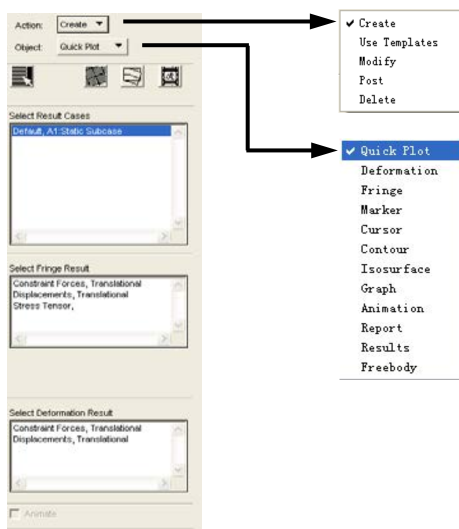


图 9-2　后处理的主面板

9.2　后处理的一般步骤

（1）点击 ***Results*** 应用工具按钮，Action 设置为 Create。

（2）选择目标的显示类型，比如：变形图（Deformation）、云图（Fringe）等。

前两步可以在快捷工具中选择。

（3）选择结果工况，比如：静态（Static）、模态（Modal）、瞬态（Transient）等。

（4）选择结果类型，比如：变形、应力、应变等。

（5）如果所选结果与层相关，则用 Position…(At Z1)按钮，选择不同的层。

（6）在 Quantity 中选择结果的显示方式，对于矢量和张量，显示合成量还是分量，如果选择显示分量，则可以选择单独显示某一分量。

（7）用属性面板控制图形显示，如果要用动画显示则选中 Animate 项。

（8）单击 Apply 按钮，显示图形。

9.3　分析结果快速显示

单击按钮（***Results***，Action>Create, Object>Quick Plot），进入结果快速显示面板，快速显示允许快速显示的变形图、云图、动画等，可以满足大多数的后处理要求。

如图 9-3 所示，在快速显示的主面板上有 4 个按钮，分别是 Select Results（选择结果）、

Fringe Attributes（云图属性设置）、Deform Attributes（变形图属性设置）、Animation Options（动画显示选项）。在 Select Result Cases 框中，显示当前所有的结果，选中其中的某一项，该项就会出现在 Select Fringe Result 和 Select Deformation Result 中，在 Select Fringe Result 中选定某一类型的结果用于生成云图，在 Select Deformation Result 中选择一个位移结果生成变形图。Quantity 项是一个按钮式菜单项，当云图中某特定项被选择时，其才会显示出来。如果在 Select Fringe Result 中选择的是一个标量，则该按钮不显示；若选择的是矢量或者张量，则该按钮会显示。例如，如果选定位移时，Quantity 可以是 Magnitude（总大小）、X Component（X 方向上的分量大小）、Y Component（Y 方向上的分量大小）、Z Component（Z 方向上的分量大小）。

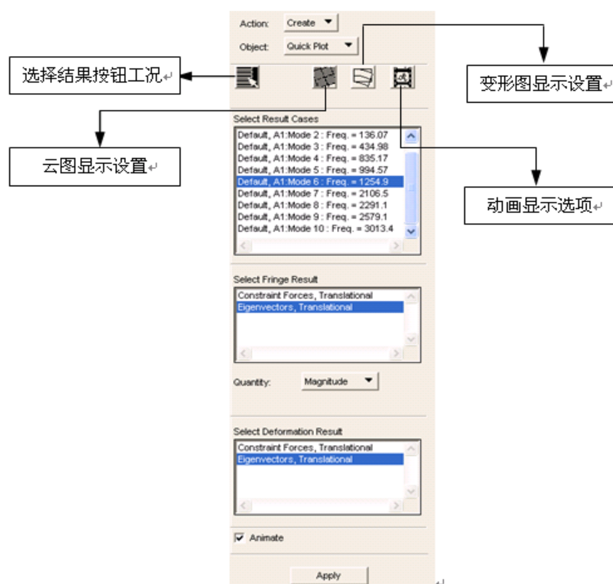
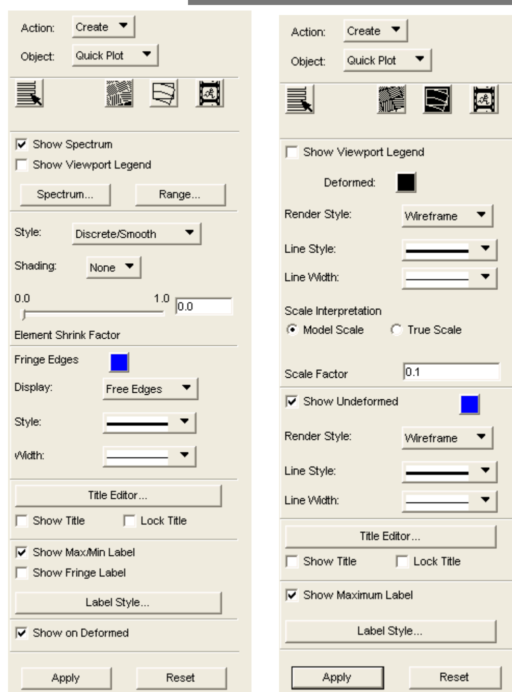


图 9-3　快速显示面板

图 9-4 所示为云图和变形图显示属性设置面板，在该面板中可以设置变形图的显示方式，例如线框渲染模式，以及相应的线型和宽度，还有变形显示的比例系数等，以及按该图中的设置显示的视图（图 9-5）。

单击 Animation Option 按钮，打开显示设置面板，如图 9-6 所示，各选项含义如下：

- Animate Fringe：云图将以动画形式显示。
- Animate Deformation：变形过程以动画显示。
- Modal：动画显示将从结果的最大值到最小值。
- Ramped：动画显示从 0 值到最大值。
- 2D：表示在平面内创建动画。
- 3D：表示在空间中创建动画。
- Preview：预览动画。
- VRML 和 MPEG：分别以这两种格式将动画输出。
- Number of Frames：用来设置动画的帧数，帧数越多，则动画过程越详细。



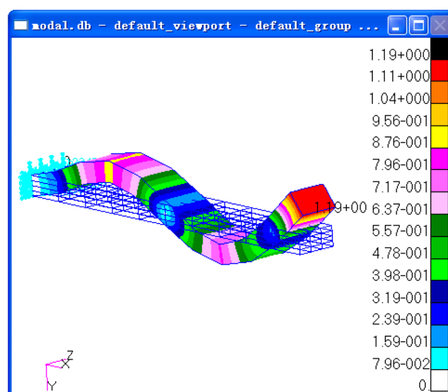
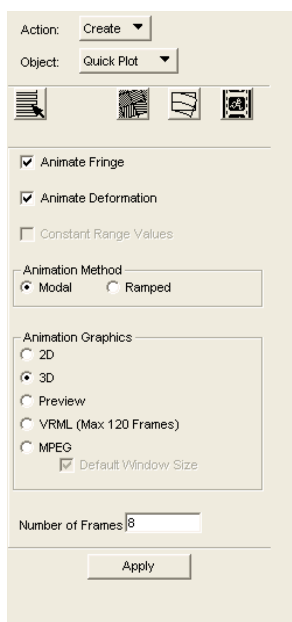


图 9-4　云图和变形图属性设置　　　　　　　　　　图 9-5　显示示例

在快速显示面板中选择 Animate 可以播放动画，在动画显示的过程中会弹出如图 9-7 所示的动画显示控制面板，控制动画的起始、结束帧以及播放顺序、播放速度、停止播放等，图 9-8 给出了动画显示过程中，不同帧数的视图。



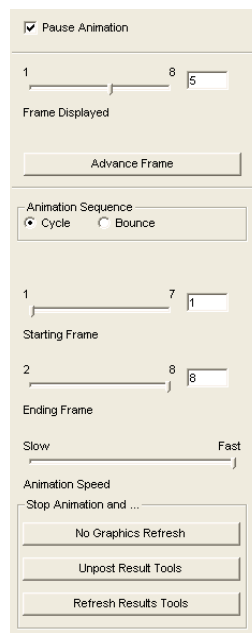


图 9-6　动画选项设置　　　　　　　　　　图 9-7　动画控制面板

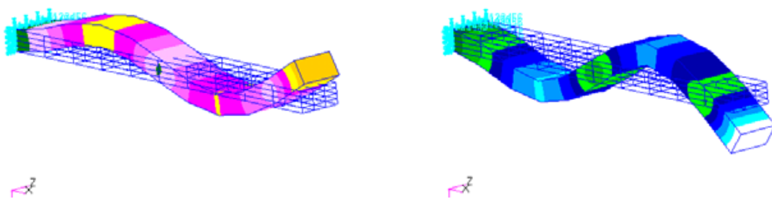


图 9-8　动画显示第 2 帧、第 5 帧

9.4　显示变形图

单击按钮（***Results***，Action>Create, Object>Deformation），进入变形图显示面板， 其专门用于变形图显示，相对于快速图形显示，其对变形图的控制更精细。

如图 9-9 所示，在 Deformation 显示的面板上有 5 个按钮，分别是 Select Results（选择结果工况）、Target Entities（选择显示目标实体）、Display Attributes（显示属性设置）、Plot Options（图形选项）、Animation Options（动画选项设置）。通过显示属性设置可以设置显示的线型、显示的线宽、变形显示的比例系数、是否显示不变形模型、是否显示选中结果中的最大值、是否显示标题等，同时还可以进行颜色设置。图 9-9 显示出变形显示比例系数分别为 0.1 和 0.2 的视图。

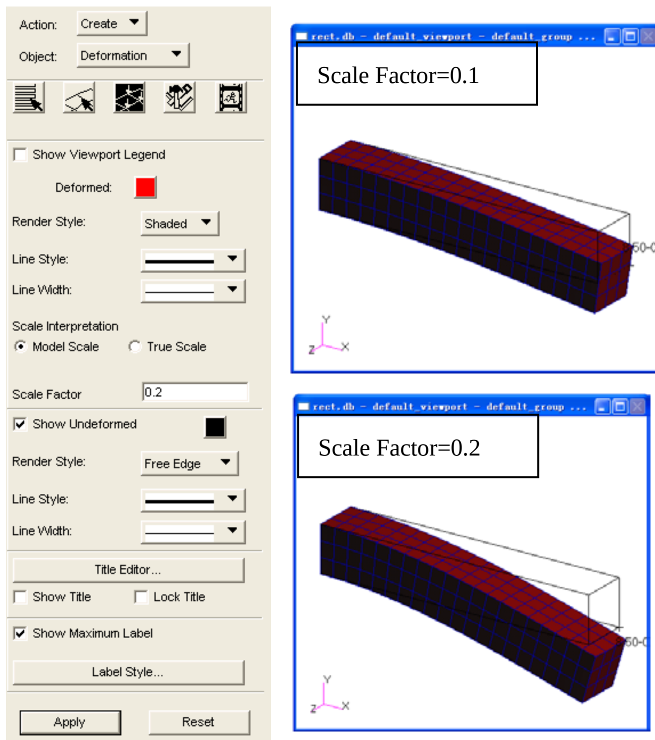


图 9-9　变形图

9.5　显示云图

单击按钮（***Results***，Action>Create, Object>Fringe），进入云图显示面板，该面板可以用云图来显示分析结果，例如显示应力、应变、约束力等，如图 9-10 所示。在 Fringe 面板的上部有 5 个按钮，分别是 Select Results（选择结果工况）、Target Entities（选择显示目标实体）、Display Attributes（显示属性设置）、Plot Options（图形选项）、Animation Options（动画选项设置）。

图 9-11 和图 9-12 示出了选择不同目标实体时的云图，其中图 9-11 为选择 Current Viewport（当前视窗）模型时的视图，当前视窗为默认选项，其包含了当前激活的视窗中所有的有限元实体，即整个模型，图 9-12 为选中部分单元的视图；图 9-13 详细给出了云图显示属性与云图中显示项之间的对用关系；图 9-14 显示出了显示属性中 Style 的两种显示风格对照图。

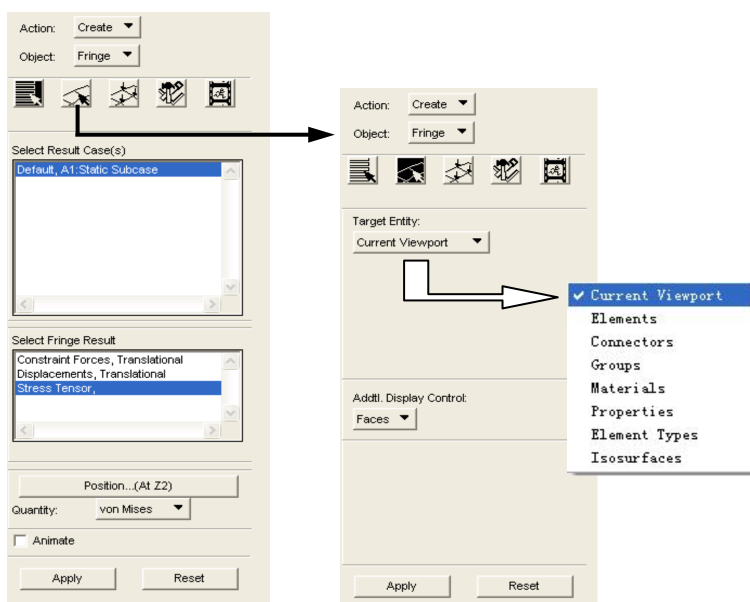


图 9-10　云图显示面板及目标实体选择

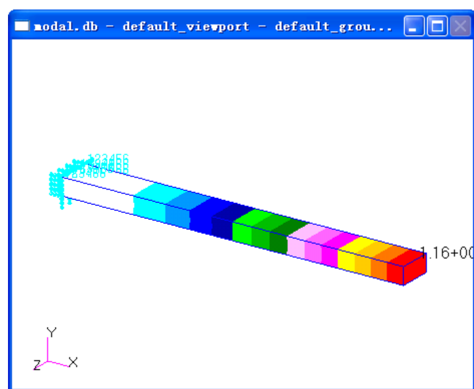


图 9-11　显示当前视图

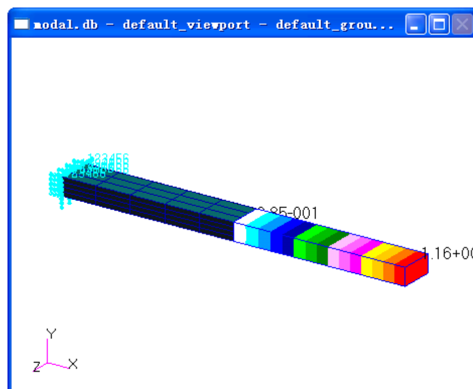


图 9-12　显示选中单元

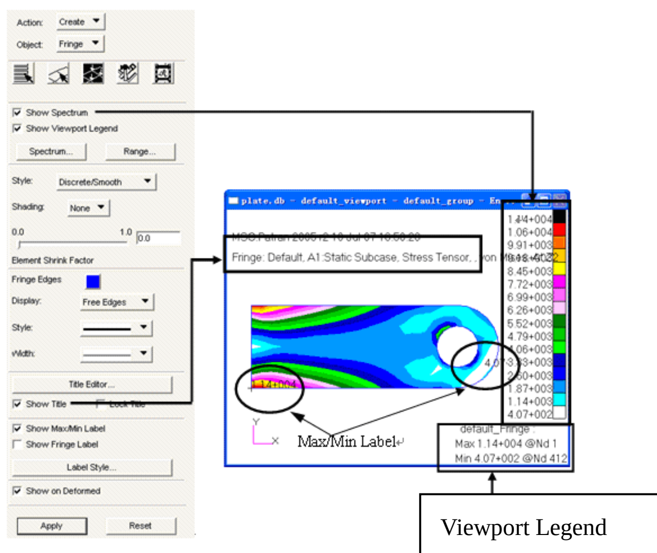


图 9-13　云图属性设置

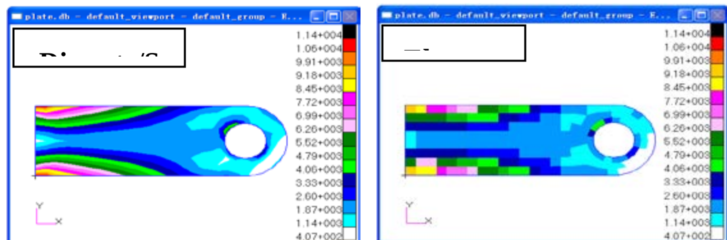


图 9-14　两种显示风格的对照

9.6　图形符号显示

单击 ***Results*** 应用工具按钮，Action>Create，Object>Marker，进入图符显示面板。在该面板中通过箭头、数字等显示矢量、张量结果，在快捷工具栏的 Result Plots 中有相应的快捷按钮可以直接选择。

图 9-15 所示为图符显示的面板，图符显示的操作过程与变形图显示或者云图显示的操作过程类似，这里不再详述。图 9-16 所示为位移矢量的图符显示，图 9-17 所示为应力张量的图符显示。

9.7　创建 X-Y 坐标曲线

单击按钮（***Results***，Action>Create, Object>Graph），进入创建 X-Y 曲线面板，如图 9-18 所示，X-Y Plot 就是将某一计算结果赋予变量 Y，再选取一参考量作为 X，绘制 Y-X 曲线图，在 X-Y Plot 面板的上部有 4 个按钮，分别是 Select Results（选择结果工况）、Target

Entities（选择显示目标实体）、Display Attributes（显示属性设置）、Plot Options（图形选项）。



图 9-15　图符显示面板

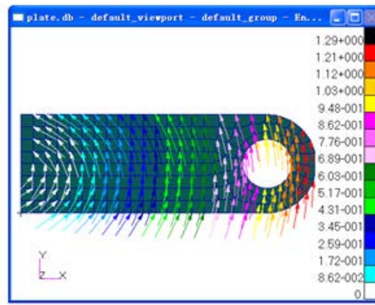


图 9-16　位移矢量的图符显示

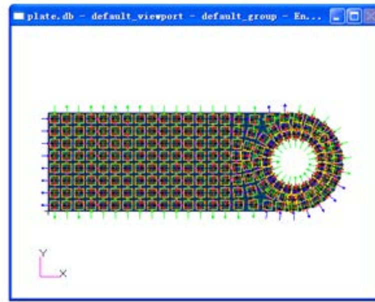


图 9-17　应力张量的图符显示

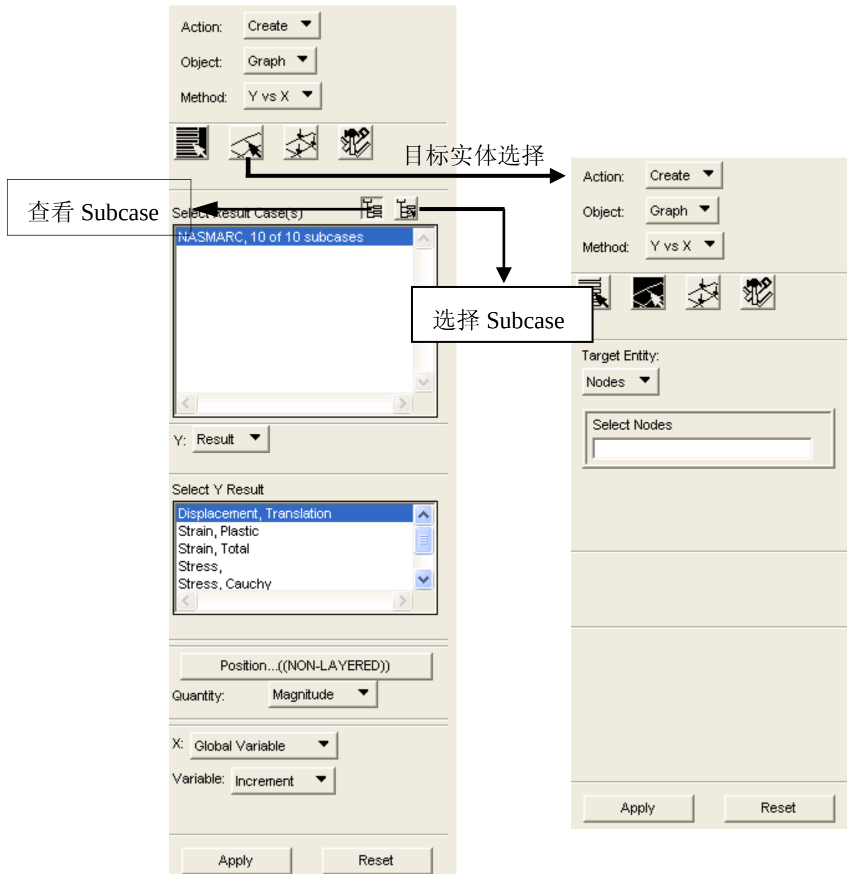


图 9-18　创建 X-Y　曲线

目标实体的选择（Target Entities）对于其他类型的图来说是可选项，但是对于曲线图来说，该项则是必选项，可选实体类型依赖于所要生成的图形和 X、Y 轴变量来选取。在瞬态分析等的结果处理时 Select Results Cases 中还会出现两个按钮，一个是查看 Subcase 按钮，另一个是选择 Subcase 按钮。图 9-19 所示为 X-Y 坐标曲线属性设置及其对应的示例。



图 9-19　X-Y 坐标曲线属性设置及对应的曲线图

9.8　生成报告

单击按钮（***Results***，Action>Create, Object>Report），进入生成报告面板，如图 9-20 所示，在 Method 中有三种方法，分别是 Preview、Overwrite File 和 Append File。Preview 表示将在调用的窗口中显示输出报告结果；Overwrite File 是创建/覆盖一个文本文件，将结果输入到该文件中；Append File 则是将结果添加到已经存在的文件后面。Patran 允许将各种结果以文本报告形式输出，这些结果可以是分析计算直接输入到数据库中的，也可以是通过导出、组合等方式生成的。

单击 Display Attributes 按钮，打开输出报告属性设置面板，如图 9-21 所示，可以对输出文件进行设置，包括指定文件的名称、文件的输出格式、数据的排列方法等。要将结果数据追加到某一报告输出文件中，或是要覆盖已存在的某个输出文件，可以单击 File 按钮，打开文件选择对话框，读取已经存在的文件；如果要新建一个报告输出文件，则在 File Name 中直接输入文件名即可。要对输出报告的类型进行设置，可以通过 Report Type 按钮来实现，如图 9-21 所示，报告的类型共分三种，分别是：Full、Summary 和 Data Only，Full 表示将所有的结果信息输出；Summary 表示仅输出结果信息的概要；Data Only 表示只输出数据信息。

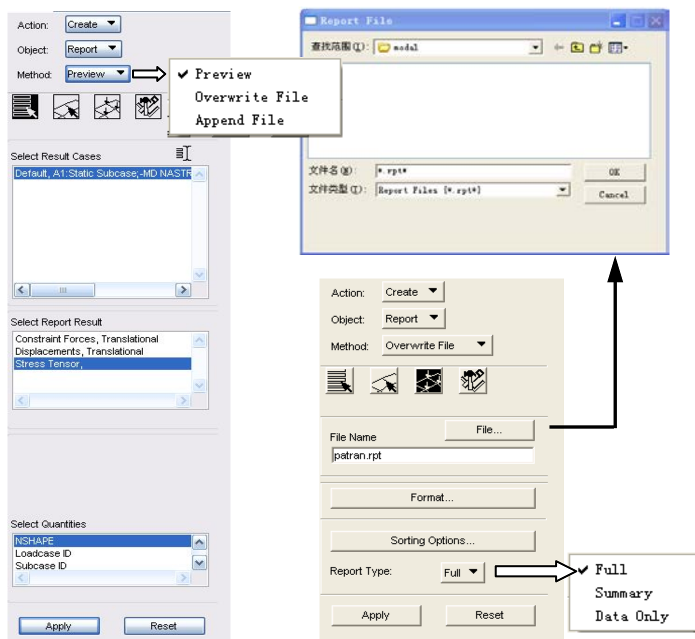
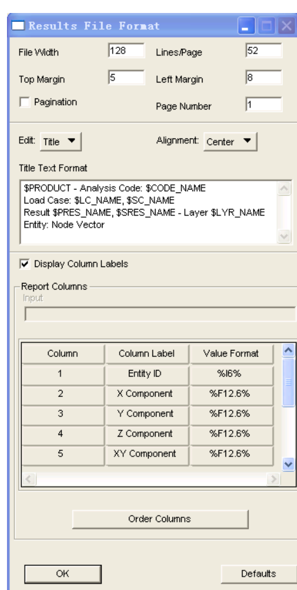


图 9-20　生成报告面板　　　　图 9-21　报告属性设置

单击 Format…按钮，打开如图 9-22 所示的面板，用户可以输出文件的最大宽度、每页的行数、左右空白的宽度、文件的头部、标题的位置、文件头的内容以及文件每一列的内容等；单击 Sorting Options 按钮，打开如图 9-23 所示的面板，在该面板中可以设置输出数据按照升序/降序排列、按照代数值/绝对值排列、按照某一对象或结果排序、按照工况/实体来组织等。图 9-24 所示是按 Summary 类型输出的报告的示例。



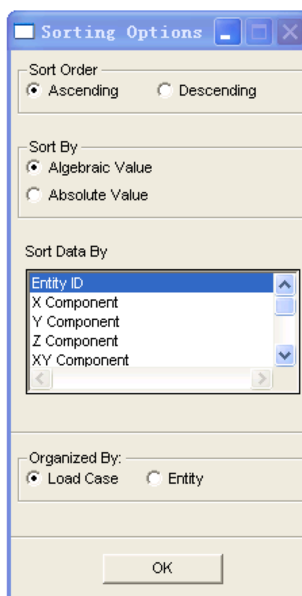


图 9-22　输出文件格式设置　　　　图 9-23　数据排列设置

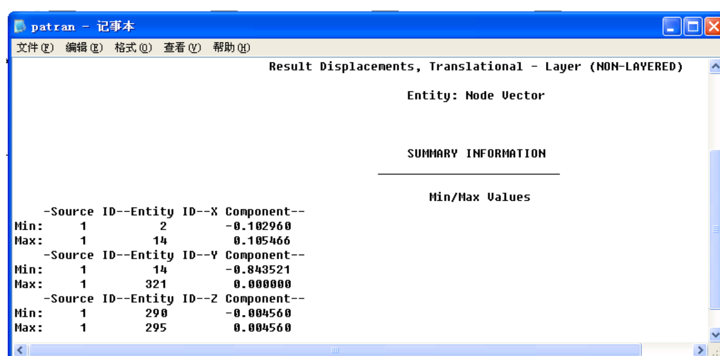


图 9-24　报告示例

9.9　其他操作

创建了结果图形后，可以对其进行修改、显示和删除。在快捷工具栏的 Result Actions 按钮集中可以快速调出结果修改、删除工具。

1．修改结果图

修改工具（***Results***，Action>Modify），在 Object 选项中选择相应的选项，如图 9-25 所示，可以对已创建的图形/报告进行修改，修改的内容包括：图形/报告的名称和各种属性，单击 Existing Deformation Plots…按钮，打开已有图形/报告选择面板，选中要修改的项进行修改，其方法与创建时相似。

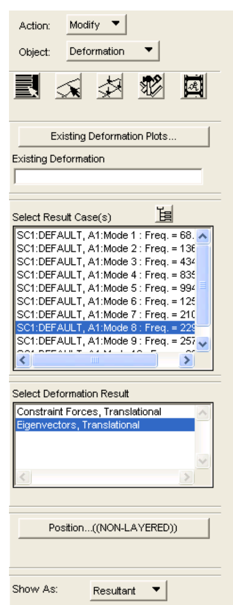


图 9-25　修改结果图

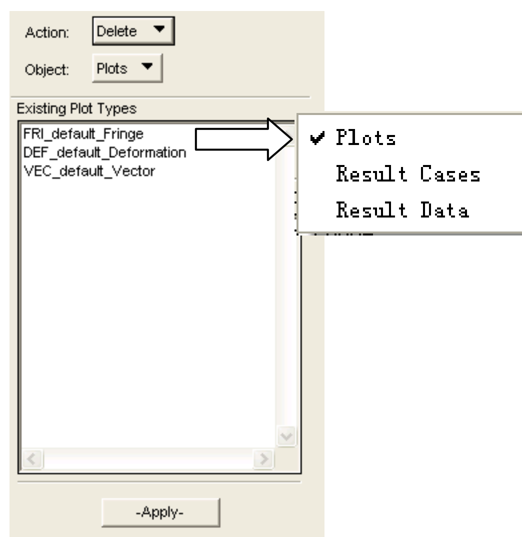


图 9-26　删除结果图

2．删除结果图

删除工具（***Results***，Action>Delete），Object 对应的选项有 3 项，如图 9-26 所示，分别是 Plots、Result Cases 和 Result Data，其中 Plots 项用来删除储存的图形，Result Cases 和 Result Data 项删除读入 Patran 数据库的结果和数据。

3．X-Y 坐标图

在快捷工具栏的 XY Plots 按钮集中可以对 X-Y 坐标图进行创建、修改、删除操作。

4．图形显示操作

在快捷工具栏的 Imaging 按钮集中可以定义图形的色谱、数值显示范围、标题等，其功能与工具栏 Display 的部分内容相同。

9.10　托架线性静力分析全程实例——结果后处理

本节接 8.5 节内容，进行结果后处理。具体操作如下：

（1）计算完毕后，如图 9-27 的 Analysis 页面所示，重新依次设置 Action=Access Results，Objective=Attach XDB，Method=Result Entities。点击页面下部的 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

（2）点击工具栏中的 Results 按钮，如图 9-28 所示，依次设置 Action=Create，Object=Deformation。

（3）如图 9-28 所示，在 Select Result Cases 列表框中选择 Default, A1: Static Subcase，在 Select Fringe Result 列表框中选择 Displacement Translational，在 Select Deformation Result 列表框中选择 Displacement Translational，点击 Apply 按钮，得到如图 9-29 所示的变形结果。

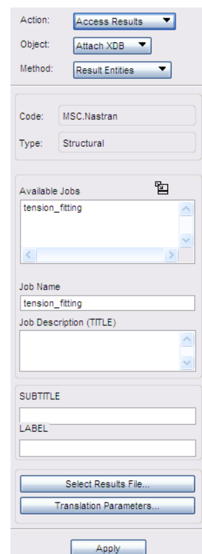


图 9-27　Analysis 页面

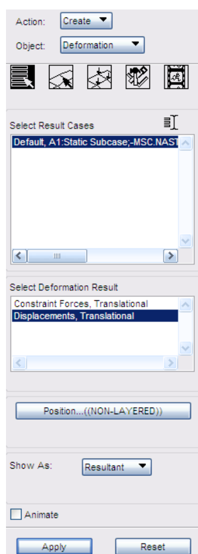


图 9-28　Results 页面

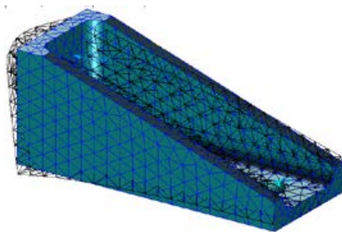


图 9-29　变形结果

（4）在菜单栏点击 Display 下的 Plot/Erase 命令。在 Plot/Erase 页面中，点击 Geometry 下边的 Erase 按钮以消除几何显示，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 9-30 所示，点击页面中的 Display Attributes 按钮，勾选取消 Show Undeformed 和 Show Title 选项。点击 Apply 按钮后，得到如图 9-31 所示的变形图，在图形区域的结果无变形前的模型，并且图形界面也更加简洁。

（6）在如图 9-32 所示的 Results 页面中，重新设置 Action=Create，Object=Fringe。

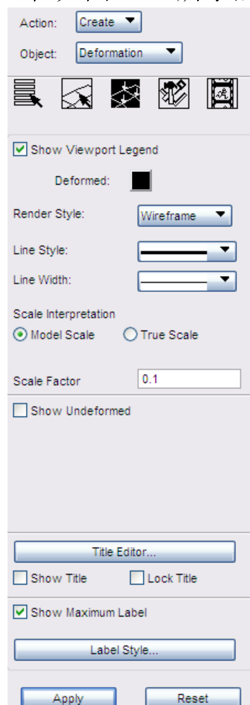


图 9-30　Results 页面

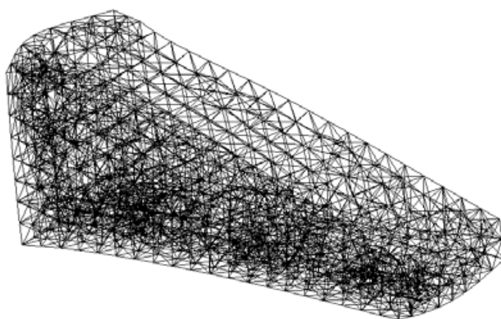


图 9-31　变形结果

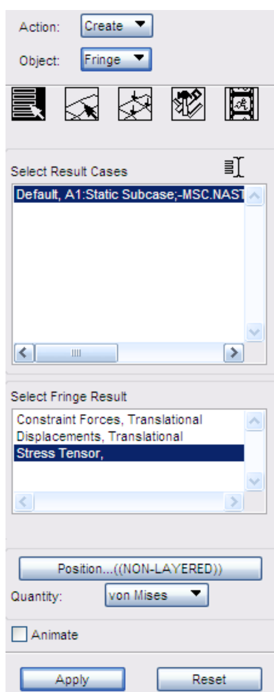


图 9-32　Results 页面

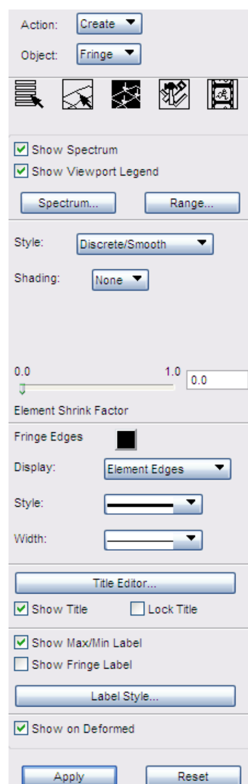


图 9-33　Results 页面

（7）如图 9-32 所示，在 Select Result Cases 列表框中选择 Default, A1: Static Subcase，在 Select Fringe Result 列表框中选择 Stress Tensor。

（8）点击 Display Attributes 按钮，如图 9-33 所示，设置 Fringe Edges 后的颜色页面为黑色，设置 Display=Element Edges，点击 Apply 按钮，得到如图 9-34 所示的应力分布云图。

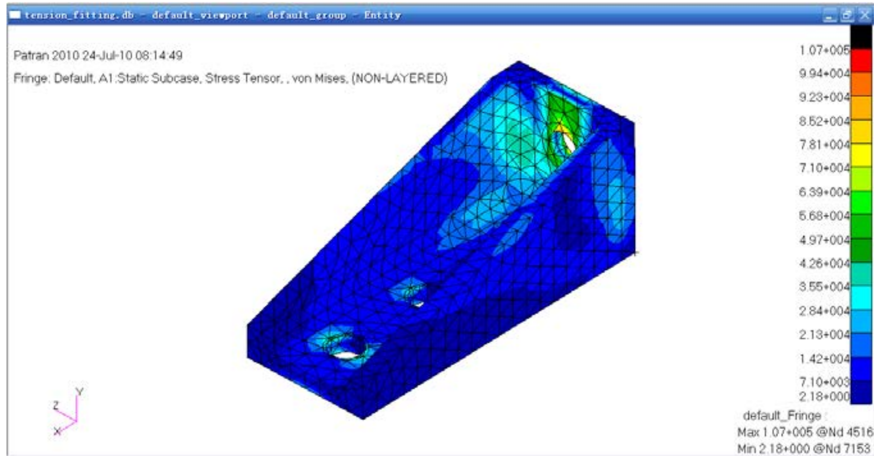


图 9-34　应力分布图

第 10 章　Patran 和 Nastran 基本使用实例

内容导航



前面几章的内容完整地讲述了 Patran 和 Nastran 有限元分析从前处理、计算到后处理操作的全部操作过程。

本章将集中讲述几个典型的分析实例，通过本章的学习，帮助读者深入了解使用 Patran 和 Nastran 进行基本有限元分析的分析流程以及各种参数的设置，完整深入掌握基本有限元分析的功能和方法。

重点剖析

* 活塞受压分析实例
* 组和列表定义实例
* 基于二维壳单元的梁分析实例
* 基于一维梁单元的梁分析实例

10.1　活塞受压分析实例

下面将介绍一个简单的活塞静力分析实例，帮助读者初步了解 Patran 和 Nastran 建模和分析的基本步骤，掌握三维实体问题的分析方法。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

(1) Patran 模型数据库文件(.db)：\piston.db

(2) bdf 文件和结果文件：\piston.bdf

10.1.1 问题描述

一个承受压力作用的活塞，在活塞销孔部位进行全约束，在活塞销顶部施加均布压强作用。要求该活塞的变形和应力等。分析计算所用到的数据包括：材料弹性模量 30e6psi，泊松比 0.3，活塞顶部压强 1200psi。分析步骤为先导入活塞的几何模型，定义材料参数和单元属性，施加位移边界条件和载荷边界条件，计算活塞的变形和应力。

10.1.2 创建数据库模型并导入模型

本例采用 CAD 软件建立的活塞几何模型，通过几何数据导入的方法建立活塞模型。

（1）新建 Patran 空数据文件。点击菜单栏上的 File/New，输入数据库文件名 piston.db，点击 OK 按钮。



技巧提示

后缀名.db 表示数据库 database 文件。

（2）在如图 10-1 所示的 New Model Preference 页面中设置 Tolerance=Based on Model，Analysis Code=MSC.Nastran，Analysis Type=Structural，点击 OK 按钮退出页面。

（3）点击菜单栏上的 File/Import，打开如图 10-2 所示的 Import 对话框，依次设置 Object=Model，Source=Parasolid xmt，选择 piston.xmt 文件，点击 Apply 按钮导入模型。此时出现 Parasolid Transmit File Import Summary 文本框，文本框的主要内容包括导入时间、几何模型信息等，点击 OK 按钮完成活塞模型的导入，得到如图 10-3 所示的活塞几何模型。

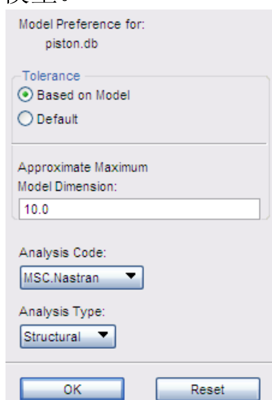


图 10-1　New Model Preference 页面

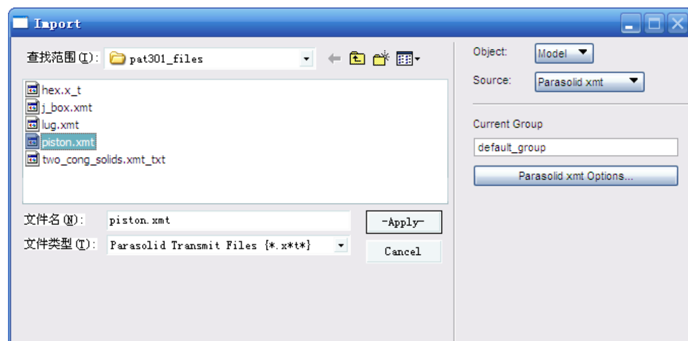


图 10-2　Import 对话框

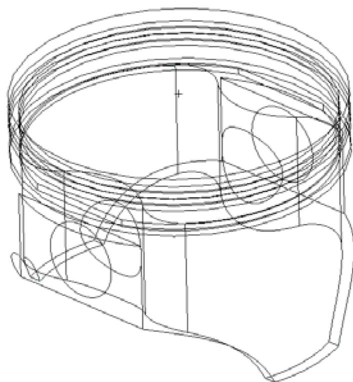


图 10-3　活塞几何模型



技巧提示

除了 xmt 模型外，本例还提供了 piston.igs 文件可供选择，读者亦可采用此文件作为模型输入文件。

10.1.3 网格划分

本例采用四面体十节点实体单元对活塞进行网格离散，其中全局单元尺寸为 0.5。

（1）点击工具栏上的 Meshing 按钮，打开如图 10-4 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Solid。

（2）如图 10-4 所示，在页面中部依次设置 Elem Shape=Tet，Mesher=TetMesh，Topology=Tet10。

提示：在 Patran 中，通常多采用动作+对象+类型（或方法）的操作方式，本操作的动作是生成(create)，对象是网格(mesh)，类型是实体(solid)。

（3）鼠标点击 Input List 下的文本框框内，并在图形显示区内用鼠标左键选取活塞实体模型。当 Input List 出现 Solid 1 信息后，鼠标左键勾选取消 Automatic Calculation 选项，并在 Value 文本框中输入数值 0.5，这里 0.5 表示全局单元尺寸。点击 Apply 按钮，完成活塞实体的网格划分，得到如图 10-5 所示的活塞网格模型。

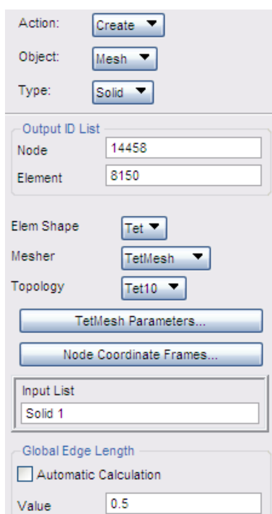


图 10-4　Finite Elements 页面

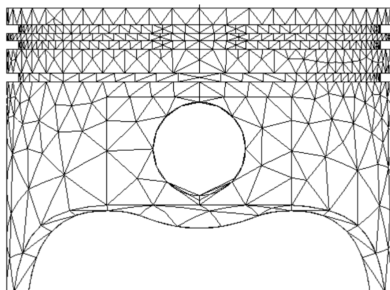


图 10-5　活塞网格模型



技巧提示

通常说来，十节点四面体单元的精度要高于四节点四面体单元精度，也是 Patran 默认推荐的单元类型之一。



技巧提示

网格划分完毕后，可在图形区内按住鼠标中键可对模型进行旋转操作，直至到合适的位置，放开鼠标中键即可。

10.1.4 定义材料本构关系

本例中活塞采用线弹性本构模型，材料值包括弹性模量和泊松比。

（1）点击工具栏 Properties 下的 Isotropic 按钮，打开如图 10-6 所示的 Materials 页面，依次设置 Action=Create，Object=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 10-6 所示，在页面中部的 Material Name 文本框中输入材料名字 steel。

（3）如图 10-6 所示，点击页面底部的 Input Properties…按钮，打开如图 10-7 所示的 Input Options 页面。设置 Constitutive Model=Linear Elastic，在 Elastic Modulus 文本框中输入数值 30e6，在 Possion Ratio 文本框中输入数值 0.3，点击 OK 按钮退出面板。



技巧提示

Nastran 中的物理量是没有单位的，用户应自己保证量纲的一致性，本算例采用的是英制单位。对于线弹性静力分析而言，只需要材料的弹性模量、泊松比数据即可。

（4）如图 10-6 所示，点击 Apply 按钮，完成活塞材料定义。

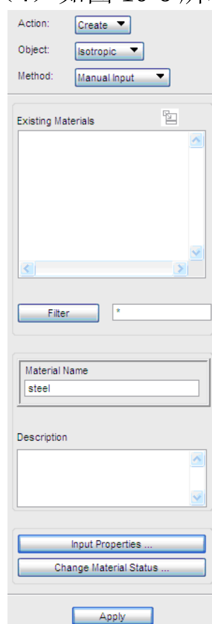


图 10-6　Materials 页面

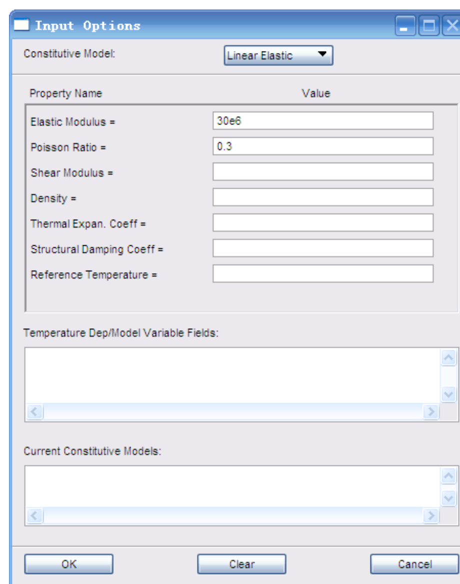


图 10-7　Input Options 页面

10.1.5 定义单元属性

本例中所有单元定义为三维实体单元，故而属性的定义仅仅有材料数据。

（1）点击工具栏 Properties 下的 Solid 按钮，打开如图 10-8 所示的 Element Properties 页面。依次设置 Action=Create，Object=3D，Type=Solid。

（2）如图 10-8 所示，在页面中部的 Property Set Name 文本框中输入 Piston。

（3）如图 10-8 所示，点击页面底部的 Input Properties…按钮，打开如图 10-9 所示的

Input Properties 页面。

（4）如图 10-9 所示，点击 Material Name 右侧的按钮，打开 Select Material 页面，点击选择列表中的 steel，点击 OK 按钮退出面板。

（5）如图 10-8 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 10-10 所示 Select Application Region 页面，点击 Select Geometry Entities 输入框，在 Picking Filters 工具栏中点击 Solid 按钮，在图形区域内选择活塞实体，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（6）如图 10-8 所示，点击 Apply 按钮，完成单元属性的定义。



技巧提示

同板壳单元不同，实体单元属性没有厚度等其它属性值。

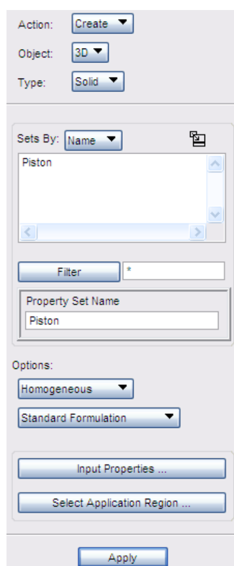


图 10-8　Element Properties 页面

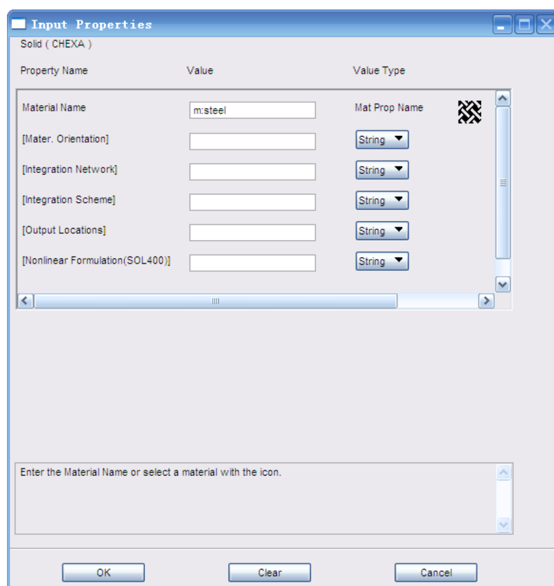


图 10-9　Input Properties 页面

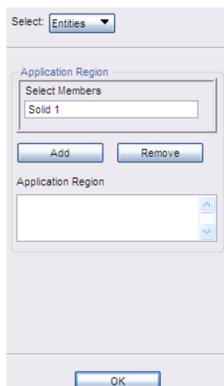


图 10-10　Select Application Region 页面

10.1.6 定义位移边界条件

活塞销孔固支，故在销孔面上定义位移约束条件，约束所有实体自由度。

（1）点击工具栏上的 Load/BCs 按钮，打开如图 10-11 所示的 Load/Boundary Conditions 页面。依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Type=Nodal。

（2）如图 10-11 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中输入 fixed。

（3）如图 10-11 所示，点击页面底部的 Input Data…按钮，打开如图 10-12 所示的 Input Data 页面。

（4）如图 10-12 所示，在 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<0,0,0>，点击 OK 按钮退出页面。



技巧提示

在 Patran 的数值输入中，<>表示向量，[ ]表示标量。数值之间可以采用逗号或空格隔开。

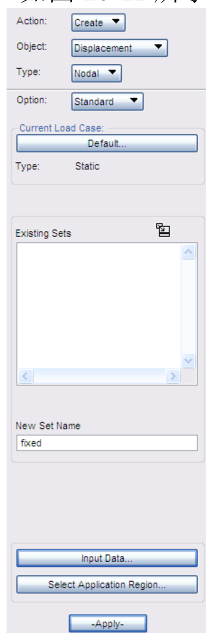
（5）如图 10-11 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 10-13 所示的 Select Application Region 页面，点击 Select Members 输入框，在 Picking Filters 工具栏中点击 Surface or face 按钮，在图形区域内选择表示活塞销孔的两个圆面 Solid 1.31 1.32，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出面板。

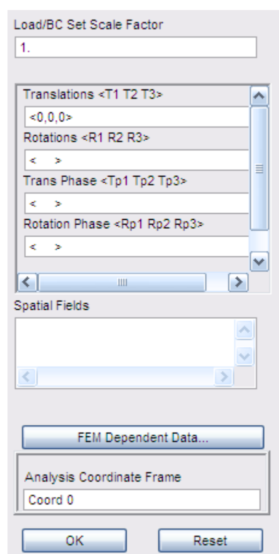


技巧提示

在进行活塞销孔面的多个对象选择时，可采用 Shift+鼠标左键进行选择。

（6）如图 10-11 所示，点击 Apply 按钮，完成位移边界条件设置。





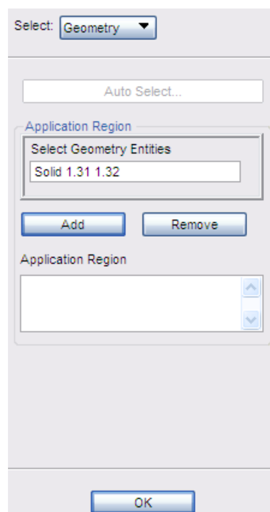


图 10-11 Load/Boundary Conditions 页面 图 10-12 Input Data 页面 图 10-13 Select Application Region 页面

10.1.7 定义压力载荷边界条件

活塞受到顶部向下的压强作用，在载荷边界条件中，定义压强边界条件。

（1）如图 10-14 所示，在 Load/Boundary Conditions 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Pressure，Type=Element Uniform。

（2）如图 10-14 所示，在 New Set Name 文本框中输入 piston_pressure。

（3）如图 10-14 所示，点击页面底部的 Input Data…按钮，打开如图 10-15 所示的 Input Data 页面，在 Pressure 文本框中输入数值 1200.0，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 10-14 所示，点击页面底部的 Select Appication Region…按钮，打开如图 10-16 所示的 Select Application Region 页面。点击 Select Solid Faces 输入框，在 Picking Filters 工具栏中点击 Fce of a solid 按钮，在图形区域内选择活塞定面 Solid 1.19，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出面板。

（5）如图 10-14 所示，点击 Apply 按钮完成压强的定义，得到如图 10-17 所示的活塞有限元模型。观察图形区域模型，在活塞顶部增加了红色表示压强的箭头，箭头方向指向压力作用面，箭头末端为压强值大小。

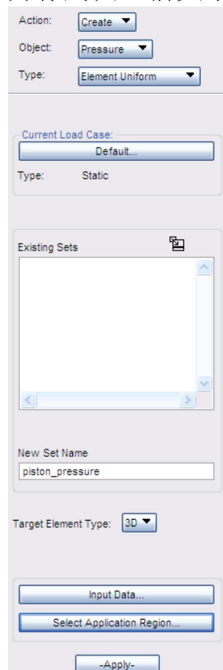


图 10-14　Load/Boundary Conditions 页面

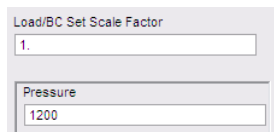


图 10-15　Pressure 文本框

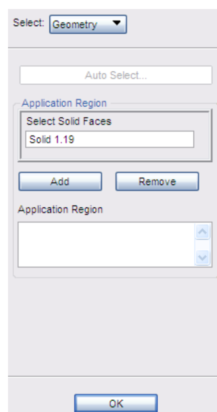


图 10-16　Select Application Region 页面

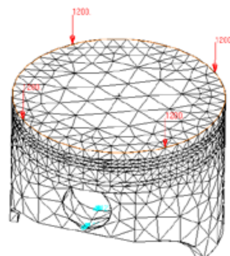


图 10-17　活塞有限元模型

10.1.8 提交分析作业

受压活塞是一种典型的静力分析，故而采用静力分析类型（默认项）。

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 10-18 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 10-18 所示，点击 Apply 按钮，在数据库文件目录下生成 piston.bdf 文件。

（3）点击 MSC Nastran2008 r1 图标，如图 10-19 所示，在弹出的对话框中点击 File…按钮，选择 piston.bdf 文件，点击 Run 按钮运行 bdf 文件，直至分析求解结束。

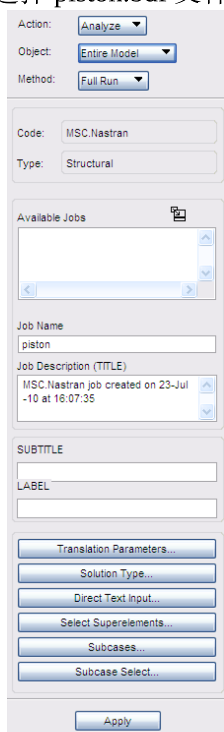


图 10-18　Analysis 页面

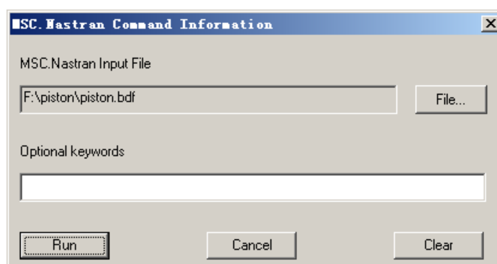


图 10-19　MSC.Nastran Command Information 界面

10.1.9 查看结果

（1）在如图 10-20 所示的 Analysis 页面中，重新依次设置 Action=Access Results，Object=Attach XDB，Method=Result Entities。

（2）如图 10-20 所示，点击 Select Results File…按钮，打开如图 10-21 所示的 Select File 对话框，选择 piston.xdb 结果文件，点击 OK 按钮退出对话框。

提示：MSC.Nastran 常见的结果文件格式包括 xdb 和 op2 两种，在 Patran 中默认采用 xdb 的文件格式。

（3）如图 10-20 所示，点击页面底部的 Apply 按钮，实现数据库文件与结果文件的关联。

（4）点击工具栏中的 Results 按钮，打开如图 10-22 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick Plot。

（5）如图 10-22 所示，在 Select Result Cases 列表框中选择 Default, A1: Static Subcase。

（6）如图 10-22 所示，在 Select Fringe Result 列表框中选择 Displacement Translational，并设置 Quantitiy=Magnitude。

（7）如图 10-22 所示，在 Select Deformation Result 列表框中选择 Displacement Translational，点击 Apply 按钮，得到如图 10-23 所示的活塞位移分布云图。

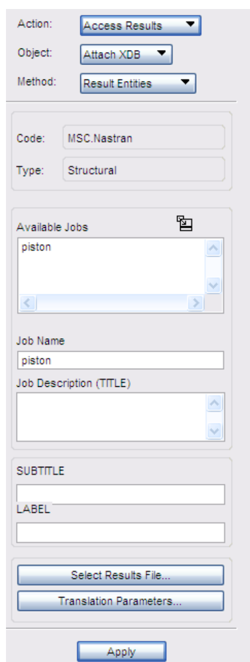


图 10-20　Analysis 页面

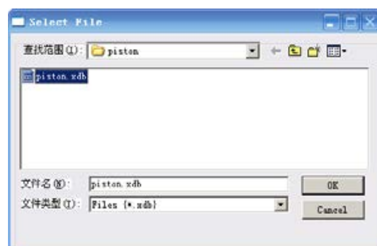


图 10-21　Select File 对话框

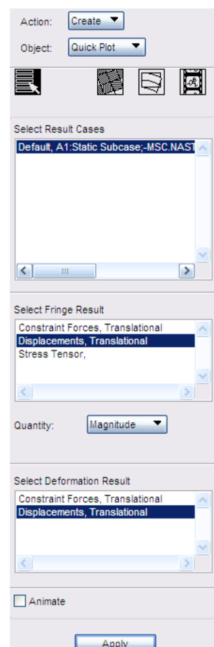


图 10-22　Results 页面

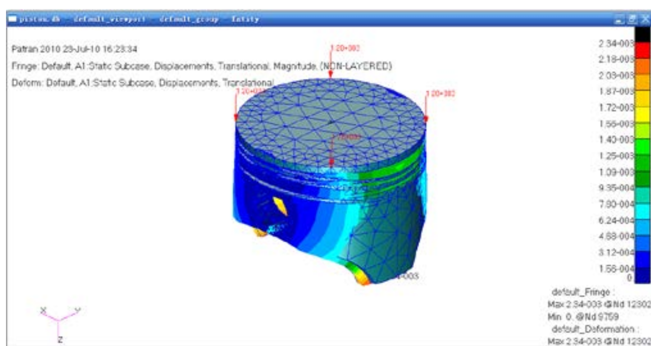


图 10-23　活塞位移分布云图

（8）如图 10-22 所示，在 Select Fringe Result 列表框中选择 Stress Tensor，点击 Apply 按钮，得到如图 10-24 所示的活塞应力分布云图。

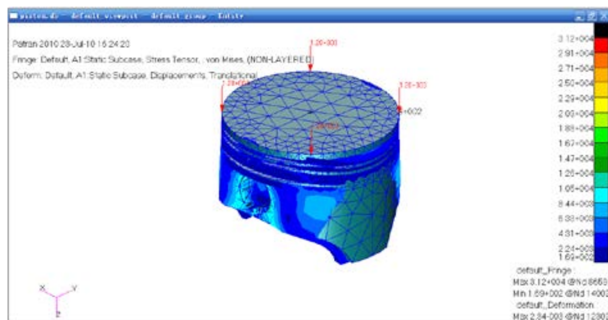


图 10-24　活塞应力分布云图

（9）点击菜单栏的 Display 命令，打开如图 10-25 所示的 Plot/Erase 页面，点击 Geometry 下方的 Erase 按钮，消隐全部几何模型。

（10）点击页面中的 Deform Attributes 按钮，如图 10-26 所示，勾选取消页面中部 Show Undeformed 和页面底部的 Show Title 选项。点击 Apply 按钮，得到如图 10-27 所示的应力分布云图。与图 10-24 对比可知，在图形区域的结果无变形前的模型，图形界面也更加简洁。

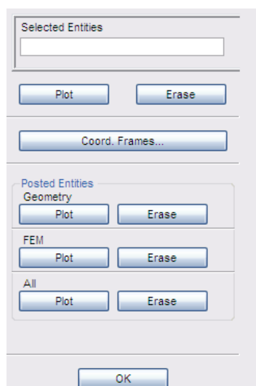


图 10-25　Plot/Erase 页面

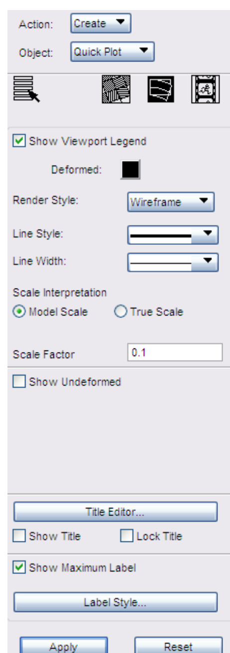


图 10-26　Results 页面

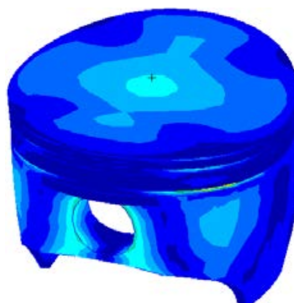


图 10-27　活塞应力分布云图

10.2　组和列表定义实例

本例建立了某圆筒状板壳网格模型，其中板壳的厚度为空间位置函数，同时施加了空间位置函数的温度载荷，用于练习 Patran 中的组(group)和列表(list)的相关操作。在随书光盘的文件夹中可以找到本实例完成后的文件。

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\fairing.db

（2）bdf 文件和结果文件：\fairing.bdf

10.2.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击菜单栏 File/New，输入数据库文件名 fairing.db，点击 OK 按钮。

（2）如图 10-28 所示，在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code=MSC.Nastran，Analysis Type=Structure，注意到页面提示 Global Model Tolerance: 0.005，点击 OK 按钮退出页面。

10.2.2 创建几何模型

（1）点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 10-29 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Point，Type=XYZ。

（2）如图 10-29 所示，在页面中部的 Points Coordinates List 文本框中输入[30 0 0]，点击 Apply 按钮生成几何点。

（3）在如图 10-30 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Curve，Type=XYZ。

（4）在页面中部的 Vector Coordinates List 文本框中输入<0 120 0>，在 Origin Coordinates List 文本框中输入[50 40 0]，点击 Apply 按钮生成线段。

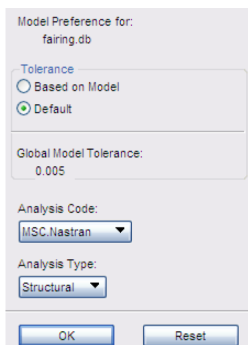


图 10-28　New Model Preference 页面

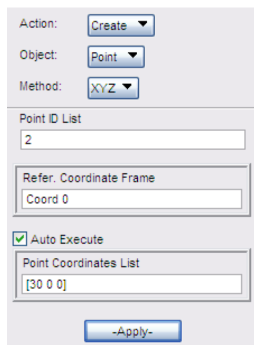


图 10-29　Geometry 页面

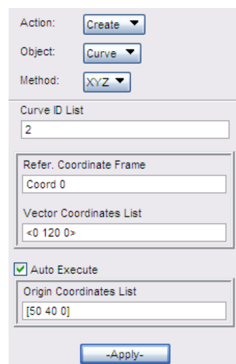


图 10-30　Geometry 页面

（5）点击 Point size 图标，在图形区内清晰显示出点。

（6）如图 10-31 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Curve，Type=Point，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Starting Point List 和 Ending Point List 文本框中分别选择 Point 1 和 Point 2，点击 Apply 按钮生成线段，得到如图 10-32 所示的几何模型。

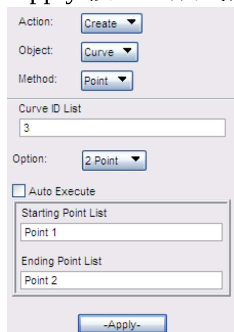


图 10-31　Geometry 页面



图 10-32　线模型

（7）在如图 10-33 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Surface，Type=Revolve。

（8）如图 10-33 所示，在 Axis 文本框中输入 Coord 0.2，在 Total Angle 文本框中输入 360，在 Curve List 文本框中框选全部曲线 Curve 1 2，点击 Apply 按钮生成曲面。

（9）点击菜单栏中的 Display 下的 Geometry…命令，打开如图 10-34 所示的 Geometric Atrributes 页面，在 Number of Display Lines 文本框中输入数值 3。点击 Apply 按钮得到如

图 10-35 所示的几何面模型，点击 Cancel 按钮退出页面。

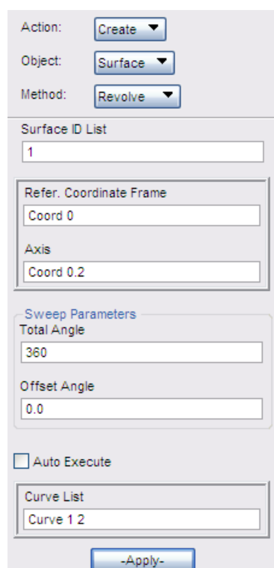


图 10-33　Geometry 页面

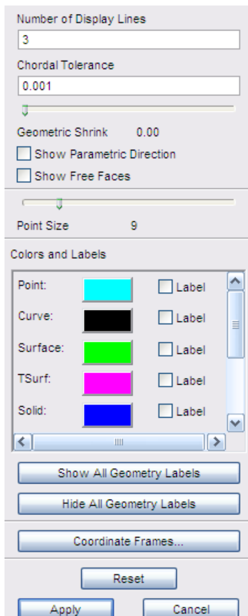


图 10-34　Geometric Atrributes 页面

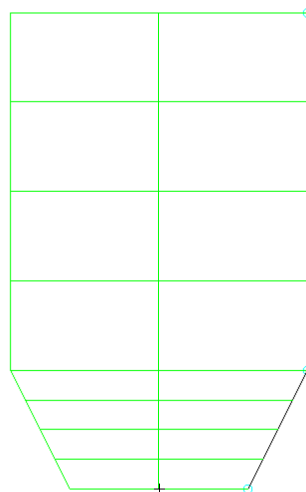


图 10-35　几何面模型

10.2.3 网格划分

（1）点击工具栏上的 Meshing 按钮，打开如图 10-36 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh Seed，Type=Uniform。

（2）如图 10-36 所示，点击选择 Number of Elements 选项，在 Number=文本框中输入数值 36，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Curve List 文本框中选择图形顶部圆线，点击 Apply 按钮完成网格种子的设置。

（3）如图 10-37Finite Elements 页面所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Mesh Seed，Type=One Way Bias。

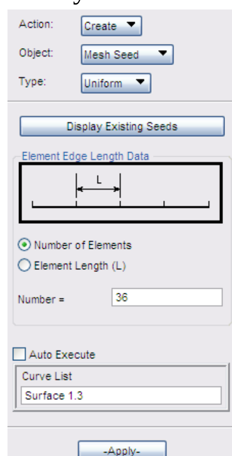


图 10-36　Finite Elements 页面

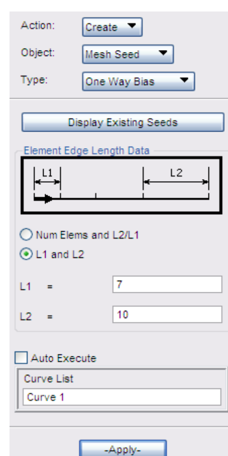


图 10-37　Finite Elements 页面

（4）如图 10-37 所示，在页面中部选择 L1 and L2 选项，分别在 L1=和 L2 文本框中输入数值 7 和 10，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Curve List 文本框中输入 Curve 1，点击 Apply 按钮生成种子点。

（5）采用相同的方法，在 L1=和 L2 文本框中输入数值 7 和 10，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Curve List 文本框中输入 Curve 1，点击 Apply 按钮生成网格种子点。

（6）如图 10-38Finite Elements 页面所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Surface。

（7）如图 10-38 所示，在页面中部设置 Elem Shape=Quad，Mesher=IsoMesh，Topolgy=Quad4，在 Surface List 文本框中框选图形区内全部曲面，勾选取消 Automatic Calculation 选项，点击 Apply 按钮。

（8）点击 Point size 图标取消点的显示，点击 Display lines 按钮取消线段显示，得到如图 10-39 所示的网格模型。

（9）点击菜单栏 Display 中的 Plot/Erase…命令，打开如图 10-40 所示的 Plot/Erase 页面，点击 FEM 下方的 Erase 按钮以消除网格模型的显示，点击 OK 按钮退出页面。

（10）在如图 10-41 的 Finite Elements 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Curve。

（11）如图 10-41 所示，在页面中部设置 Topology=Bar2，勾选取消 Automatic Calculation 选项，在 Curve List 选择图形区中的三段圆线，点击 Apply 按钮生成杆单元。

（12）在如图 10-42 所示的 Finite Elements 页面中，依次设置 Action=Verify，Object=Element，Type=Boundaries。

（13）如图 10-42 所示，在 Display Edges 下方选择 Free Edges，点击 Apply 按钮，观察图形区内的自由边。

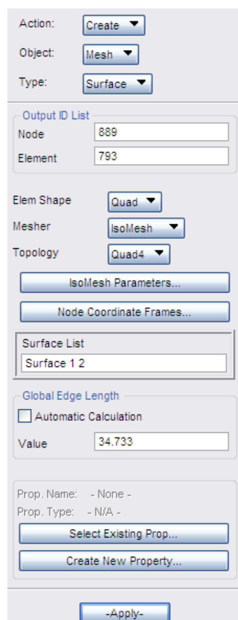


图 10-38　Finite Elements 页面

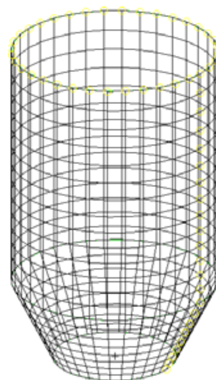


图 10-39　网格模型

（14）在如图 10-43 所示的 Finite 页面中，依次设置 Action=Equivalence，Object=All，Method=Tolerance Cube，点击 Apply 按钮合并重节点。可以重复上述步骤，以重新检查自由边。

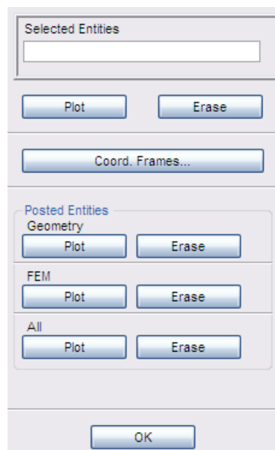


图 10-40　Plot/Erase 页面

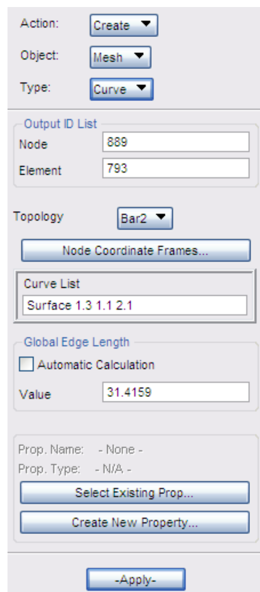


图 10-41　Finite Elements 页面

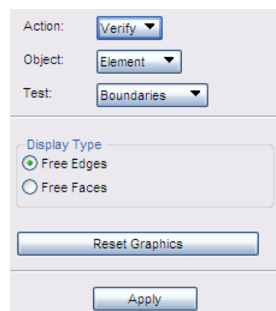


图 10-42　Finite Elements 页面



技巧提示

在图形区下方的信息栏，有关于节点合并的信息。

（15）点击命令栏 Display 中的 Plot/Erase…命令，点击 FEM 下方的 Plot 命令，在图形区中显示全部有限元模型。

（16）点击命令栏 Group 中的 Create…命令，打开如图 10-44 所示的 Group 页面，在 New Group Name 文本框中输入 FEM。勾选 Unpost All other Groups 选项，设置 Group Contents=Add All FEM，点击 Apply 按钮生成有限元模型组。

10.2.4 定义材料本构关系

（1）点击工具栏上的 Properties 下的 Isotropic 按钮，打开如图 10-45 所示的 Materials 页面。依次设置 Action=Create，Objective=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 10-45 所示，在 Material Name 文本框中输入 Alum_1。

（3）如图 10-45 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 10-46 所示的 Input Options 页面。设置 Constitutive Model=Linear Elastic，在 Elastic Modulus 文本框中输入数值 1.05E7，在 Possion Ratio 文本框中输入数值 0.33，在 Density 文本框中输入数值 10.6E-4，点击 OK 按钮退出面板

（4）如图 10-45 所示，点击 Apply 按钮完成材料定义。

（5）采用相同的方法，定义材料名为 alum_2，其中弹性模量值为 1.18E7，泊松比为 0.33，密度为 10.4E-4。

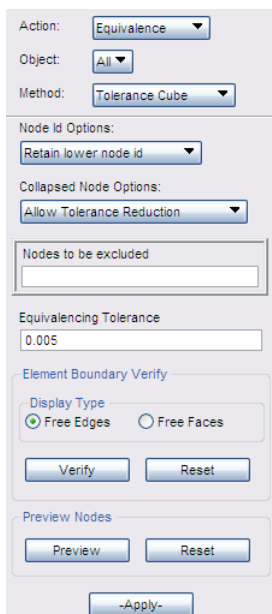


图 10-43　Finite Elements 页面

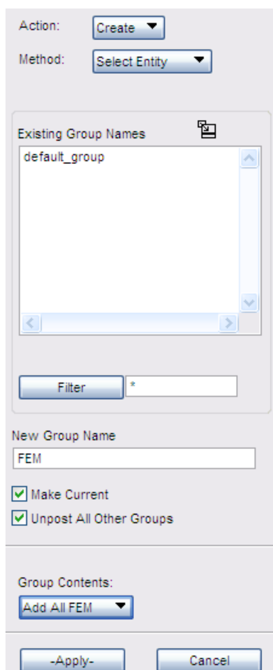


图 10-44　Group 页面

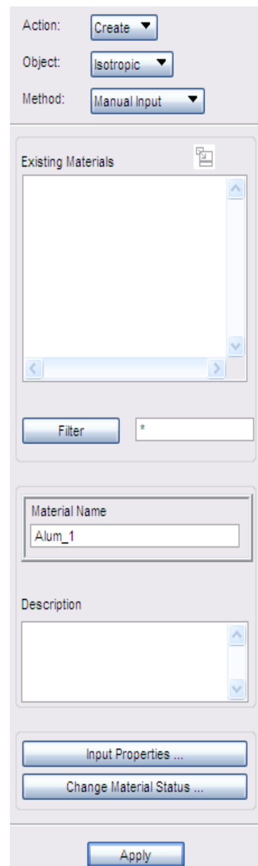


图 10-45　Materials 页面

10.2.5 定义表

本步骤定义空间场，用于后面温度载荷边界条件施加和壳厚度定义。

（1）点击菜单栏上的 Loads/BCs 按钮，然后点击 Create Spatial 按钮。

（2）在如图 10-47 所示的 Fields 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Spatial，Method=PCL Function。

（3）如图 10-47 所示，在页面中部的 Field Name 文本框中输入 thickness，在 Scalar Function 文本框中输入表达式 1.5-'Y/160，点击 Apply 按钮生成定义的场。



技巧提示

在 Patran 中，独立坐标变量前需增加“'”。

（4）采用类似的方法，定义 Field Name 为 temperature，其中 Scalar Function 为 200.0-(150.0/160.0)*'X 的表。

10.2.6 定义单元属性

本例板壳厚度为空间场，采用上述步骤定义的 thickness 场。

（1）点击工具栏中的 Front View 按钮。

（2）点击工具栏上的 Properties 按钮，打开如图 10-48 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=2D，Type=Shell。

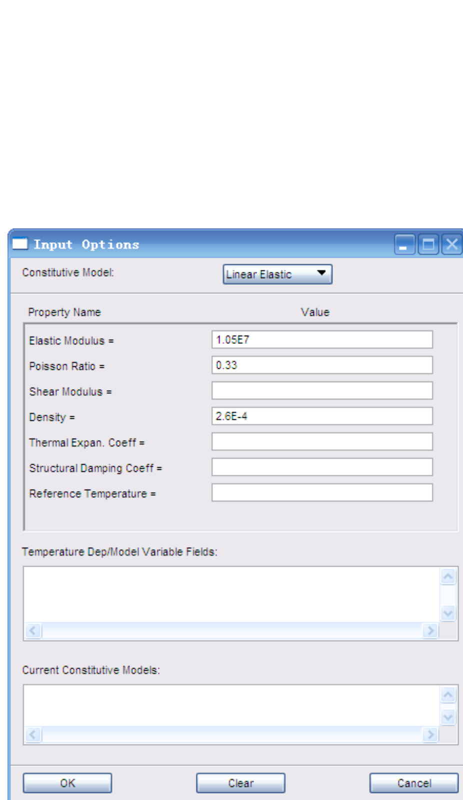


图 10-46 Input Options 页面

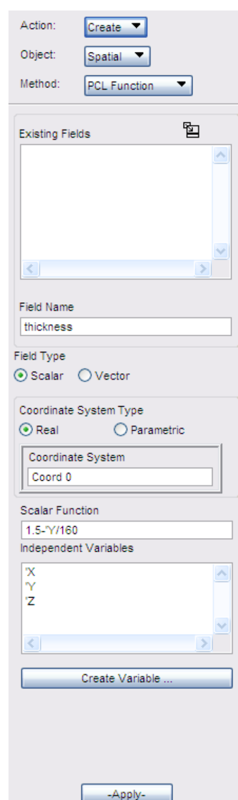


图 10-47 Fields 页面

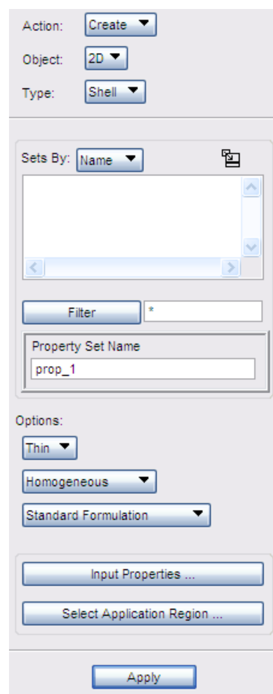


图 10-48 Element Properties 页面

（3）如图 10-48 所示，在页面中部的 Property Set Name 文本框中输入 prop_1。

（4）如图 10-48 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 10-49 所示的 Input Properties 页面。在 Material Name 文本框中选择 alum_1，在 Thickness 文本框中选择 thickness，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 10-48 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 10-50 所示的 Select Application Region 页面。在 Select Members 文本框中，选择壳单元选择图标，在图形区选择上半部分的全部壳单元，即 Elm 1:504，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

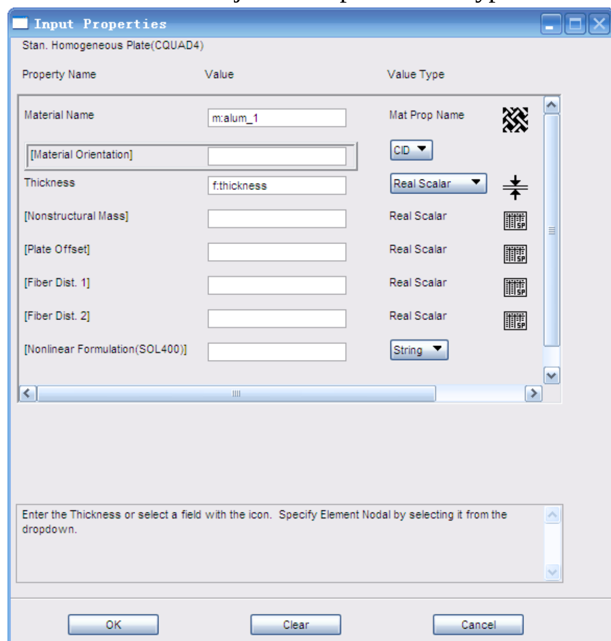
（6）如图 10-48 所示，点击 Apply 按钮完成属性定义。

（7）采用相同的方法定义属性 prop_2，其中 Material Name 为 alum_2，Thickness 为 thickness，区域为模型下半部分的全部壳单元，即 Element 505:792。

10.2.7 定义温度边界条件

本例的温度场是空间变化场，采用上述步骤定义的 temperature 场。

（1）点击菜单栏 Loads/BCs 下的 Temperature 图标，如图 10-51 所示，依次设置 Action=Create，Object=Temperature，Type=Nodal。



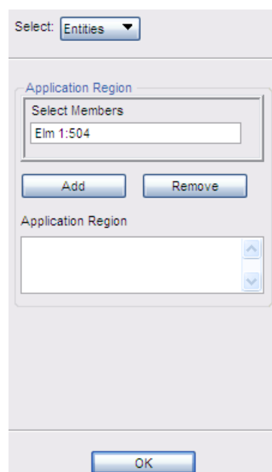


图 10-49　Input　Properties 页面　　　　图 10-50　Select Application Region 页面

（2）如图 10-50 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中输入 temp。



图 10-51　Load/Boundary Contiditions 页面

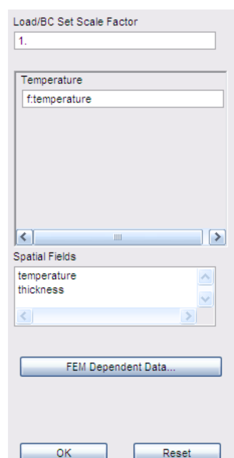


图 10-52　Input Data 页面

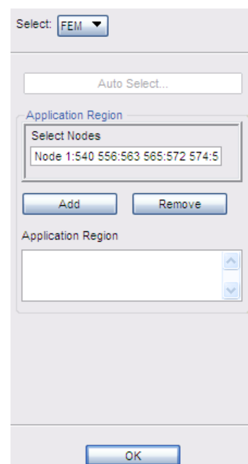


图 10-53　Select Application Region 页面

（3）如图 10-50 所示，点击 Input Data...按钮，打开如图 10-52 所示的 Input Data 页面，在 Temperature 文本框中选择 temperature，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 10-51 所示，点击 Select Application Region...按钮，打开如图 10-53 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中选择全部节点，点击 Add 按钮，添加至 Application Region，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 10-51 所示，点击 Apply 按钮完成温度边界条件的施加，得到如图 10-54 所示的有限元模型。

（6）点击命令栏 Display 中的 Load/BC/Elem. Props...命令，打开如图 10-55 所示的 LBC/Elem.Prop. Attributes 页面，在其中 Load/BCs 选项中勾选取消 Temperature 选项，点击 Apply 按钮完成设置，此时图形区内的温度显示消失，点击 Cancel 按钮退出页面。

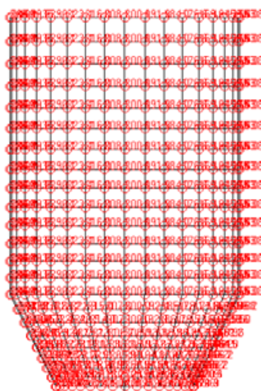


图 10-54　有限元模型

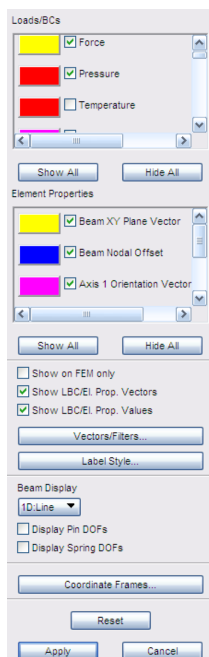


图 10-55　LBC/Elem. Prop. Attributes

10.2.8 定义厚度场集合

（1）点击命令栏中的 Tools 下的 List/Create...命令，在如图 10-56 所示的 Create List 页面中，依次设置 Model=FEM，Object=Element，Method=Arrribute。

（2）如图 10-56 示，在 Attribute 列表中选择 Material，在 Existing Material 列表中选择 alum_1，在页面底部的 Target List 中选择“A”，点击 Apply 按钮生成 A 集合。在如图 10-57 所示的 List A 页面中，’lista contents: ’显示为 Element 1:504。

（3）点击菜单栏上的 Properties，点击 Show Property 按钮，打开如图 10-58 所示的 Element Properties 页面，设置 Action=Show，在 Existing Properties 列表中选择 Thickness，设置 Display Method=Scalar Plot，在 Select Groups 列表中选择 FEM，点击 Apply 完成显示操作，在图形区域显示了如图 10-59 所示的模型厚度分布情况。

（4）点击命令栏中的 Tools 下的 List/Create…命令，打开如图 10-60 所示的 Create List 页面。依次设置 Model=FEM，Object=Element，Method=Arrribute，在 Attribute 列表中选择 Material，在 Existing Material 列表中选择 alum_1，在页面底部的 Target List 中选择“A”，点击 Apply 按钮生成 A 集合。在 List A 页面中，显示为 Element 1:504。

（5）采用类似的方法，在 Attribute 列表中选择 Fringe，在 Fringe Tools 列表中选择 default_Fringe，设置 F>，并在文本框中输入数值 0.98，在页面底部的 Target List 中选择“B”，点击 Apply 按钮生成 B 集合。

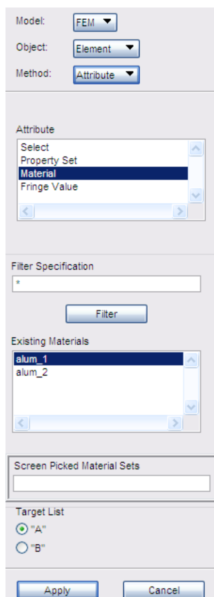


图 10-56　Create List

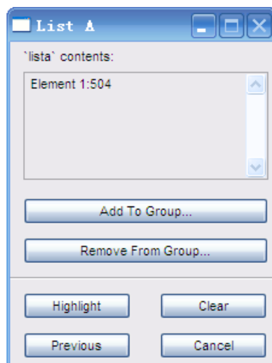


图 10-57　List A

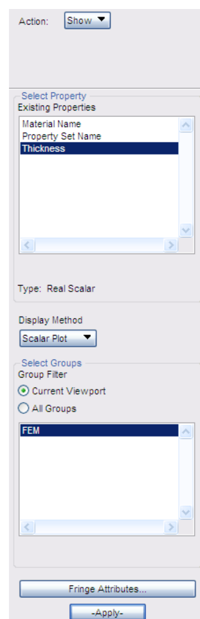


图 10-58　Element Properties

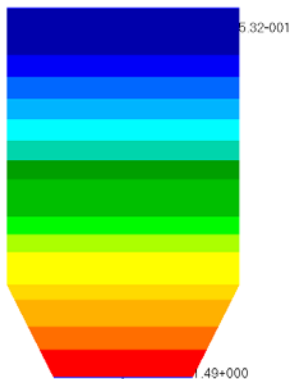


图 10-59　厚度分布显示

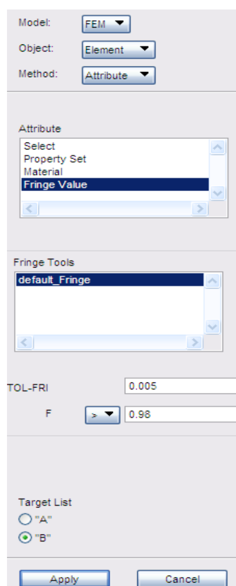


图 10-60　Create List

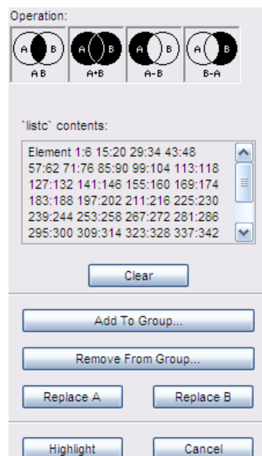


图 10-61　Boolean List

（6）点击命令栏中的 Tools 下的 List/Boolean…命令，打开如图 10-61 所示的 Boolean List 页面，点击 Operation 下的第一个图标，在'listc' contents 列表中出现了 A 和 B 集合交集的单元编号，点击 Replace A 按钮以交集取代 A 集合。

10.2.9 定义温度场集合

（1）点击菜单栏上的 Load/BCs，如图 10-62 所示，依次设置 Action=Plot Contours，Object=Temperature，在 Existing Sets 列表中选择 temp，在 Select Data Variable 列表中选择 Temperature，在 Select Groups 列表中选择 FEM，点击 Apply 完成显示操作，在图形区域显示了如图 10-62 所示的模型温度分布情况。

（2）点击命令栏中的 Tools 下的 List/Create…命令，打开如图 10-63 所示的 Create List 页面，依次设置 Model=FEM，Object=Element，Method=Arrribute，在 Attribute 列表中选择 Fringe Value，在 Fringe Tools 列表中选择 default_Fringe，设置 F>，并在文本框中输入数值 230，在页面底部的 Target List 中选择“B”，在 List B 页面中点击 Clear 按钮以清除原有的 B 集合内容，点击 Apply 按钮生成 B 集合。

（3）点击命令栏中的 Tools 下的 List/Boolean…命令，点击 Clear 按钮以消除原有的数据，点击 Operation 下的第一个图标，在'listc' contents 列表中出现了 A 和 B 集合新交集的单元编号，点击 Add To Group…按钮，在 Group Name 文本框中输入 common_quads，点击 Apply 按钮，点击 Cancel 按钮退出页面。

（4）点击命令栏中的 Group 下的 Post…命令，打开如图 10-64 所示的 Group 页面，选择列表中的 common_quads，点击 Apply 按钮，点击 Cancel 按钮退出页面，点击 Ios 1 view 按钮。



图 10-62　温度分布显示

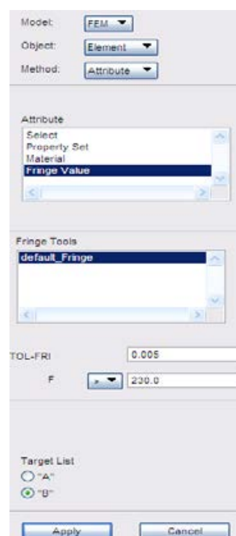


图 10-63　Create List 页面

10.2.10 定义组

在 Patran 中，通常将具有相同属性的几何定义为组，本例则根据此原则来定义组。

（1）点击命令栏中的 Group 下的 Create…命令，打开如图 10-65 所示的 Property 页面，

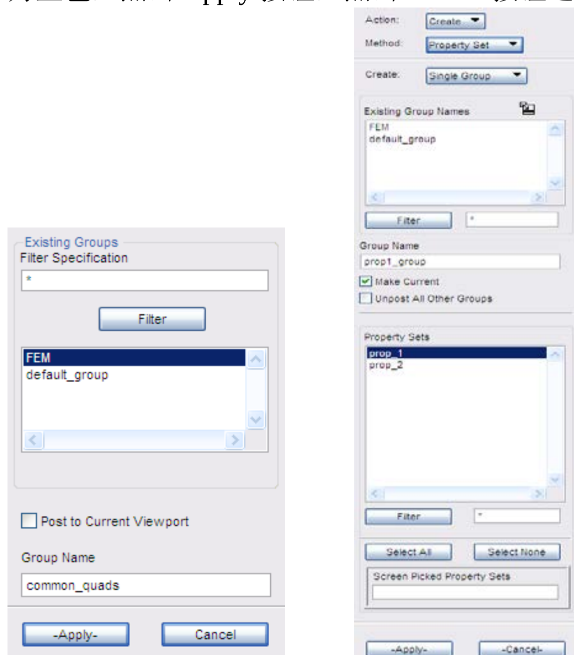
依次设置 Action=Create，Method=Property Set，Create=Single Group。

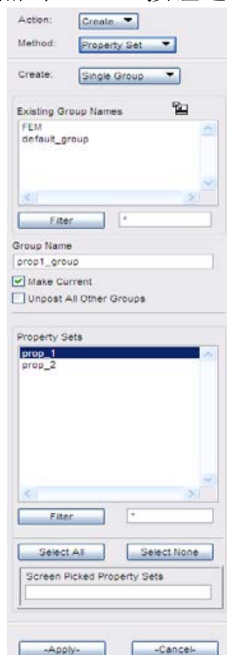
（2）如图 10-65 所示，在 Group Name 文本框中输入 prop1_group，选择 Property Sets 列表中的 prop_1，点击 Apply 按钮生成组。

（3）采用相同的方法，定义 prop2_group，其中属性值对应为 prop_2。

（4）点击命令栏中的 Display 下的 Entity Color/Label/Render…命令，打开如图 10-66 所示的 Entity Color/Label/Render 页面，在 Entity Coloring and Laberling 中选择 Group，在 Target Group(s)列表中选择 prop1_group。设置 Render Style=Wireframe，Shade Color 为黄色，点击 Apply 按钮。

（5）采用相同的方法，设置 prop2_group，其中 Render Style=Hiddern Line，Shade Color 为蓝色，点击 Apply 按钮，点击 Cancel 按钮退出页面。





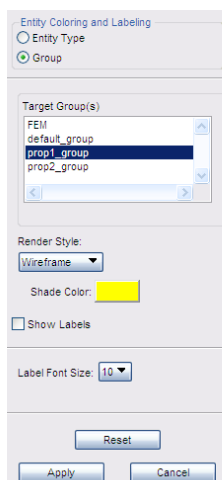


图 10-64　Group 页面　　图 10-65　Property 页面　　图 10-66　Entity Color/Label/Render 页面

（6）点击命令栏中的 Group 下的 Post…命令，打开如图 10-67 所示的 Group 页面，在 Select Group to Post 列表中选择 prop1_group，点击 Apply 按钮，点击 Iso 3 view 图标，得到如图 10-68 所示的网格模型。

（7）采用相同的方法，在 Select Group to Post 列表中选择 prop2_group，点击 Apply 按钮，得到如图 10-69 所示的网格模型。

（8）采用相同的方法，如图 10-70 所示，在 Select Group to Post 列表中同时选择 prop1_group 和 prop2_group，点击 Apply 按钮，得到如图 10-71 所示的网格模型。

10.3 基于二维壳单元的梁分析实例

本来采用板壳单元建立悬臂梁模型，进一步熟悉板壳单元属性定义和分析等。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

(1) Patran 模型数据库文件(.db)：\cant_beam_2D.db。

(2) bdf 文件和结果文件：\cant_beam_2D.bdf。

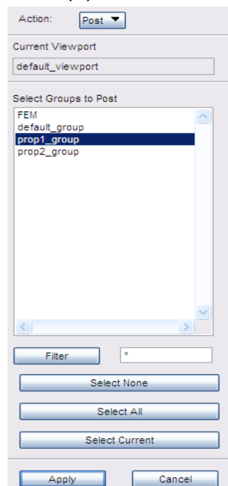


图 10-67　Group 页面

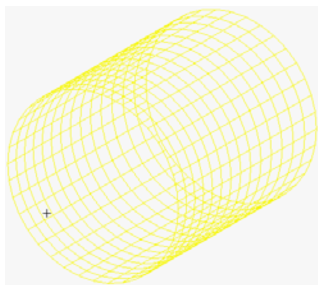


图 10-68　网格模型

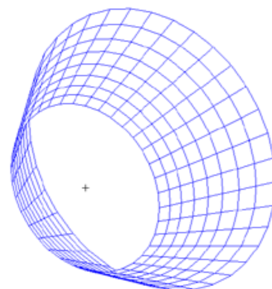


图 10-69　网格模型

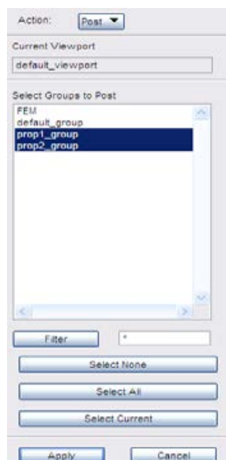


图 10-70　Group 页面

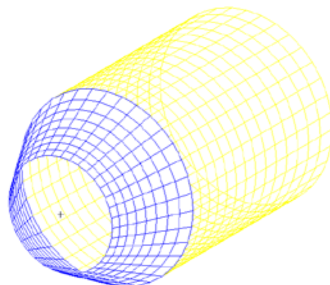


图 10-71　网格模型

10.3.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击菜单栏 File/New，输入数据库文件名 cant_beam_2D.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code= Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

10.3.2 创建几何模型

本例基于几何面模型建立板壳模型，故而应首先建立悬臂梁几何模型。

（1）点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 10-72 所示的 Geometry 页面，依次设

置 Action=Create，Object=Solid，Type=XYZ。

（2）如图 10-72 所示，在页面中部的 Vector Coordinates List 文本框中输入< 5 1 1.5 >，点击 Apply 按钮，点击 Iso 1view 图标，得到如图 10-73 所示的几何模型。

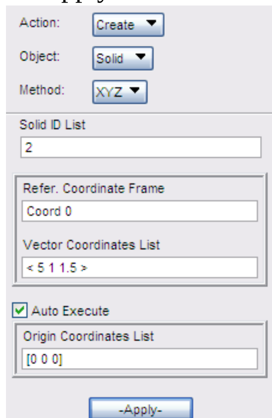


图 10-72　Geometry 页面

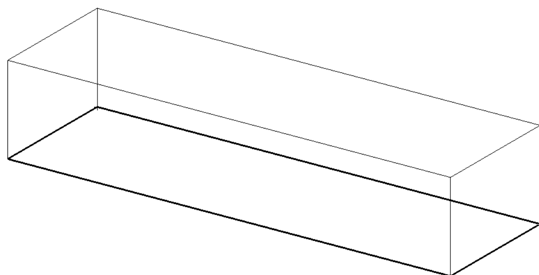


图 10-73　几何模型

10.3.3 网格划分

本例采用板壳单元离散四周表面，在网格划分完毕后，由于在棱边会产生公共节点，故而需要合并重节点以完成网格模型的建立。

（1）点击工具栏上的 Meshing 按钮，打开 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Surface。

（2）在页面中部，依次设置 Elem Shape=Quad，Mesher=IsoMesh，Topology=Quad4。在图形区中选择实体的除前后两个表面外的全部表面，勾选取消 Automatic Calculation 选项，在 Value 文本框中输入数值 0.5，点击 Apply 按钮生成网格。



技巧提示

对于规则的面模型，可以采用 IsoMesh 的方式进行网格离散。而对于不规则拓扑面模型，可采用 Paver 的方式进行网格离散。

（3）在 Finite Elements 页面中，重新依次设置 Action=Equivalence，Object=All，Method=Tolerance Cube，点击 Apply 按钮以合并重节点，生成如图 10-74 所示的悬臂梁网格模型。

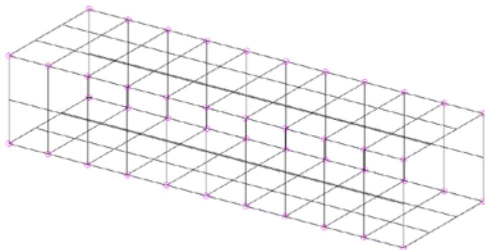


图 10-74　悬臂梁网格模型

10.3.4 定义载荷

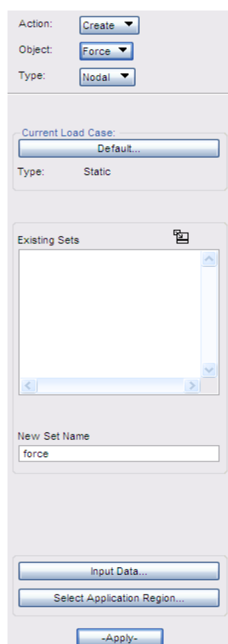
本例载荷在悬臂梁一端的角点处施加集中载荷。

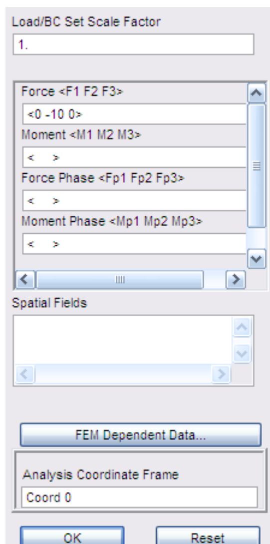
（1）点击菜单栏 Load/BCs 按钮，打开如图 10-75 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，依次设置 Action=Create，Object=Force，Type=Nodal。

（2）如图 10-75 所示，在 New Set Name 文本框中输入 force。

（3）如图 10-75 所示，点击 Input Data...按钮，打开如图 10-76 所示的 Input Data 页面，在 Force<F1 F2 F2>文本框中输入<0 -10 0>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 10-75 所示，点击 Select Application Region...按钮，打开如图 10-77 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=Geometry，在 Select Geometry Entities 文本框中选择前端左上角点，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。





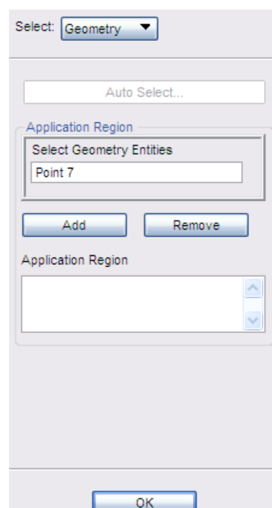


图 10-75　Load/Boundary Conditions　　图 10-76　Input Data　　图 10-77　Select Application Region

（5）如图 10-75 所示，点击 Apply 按钮生成载荷，得到如图 10-78 所示的有限元模型。

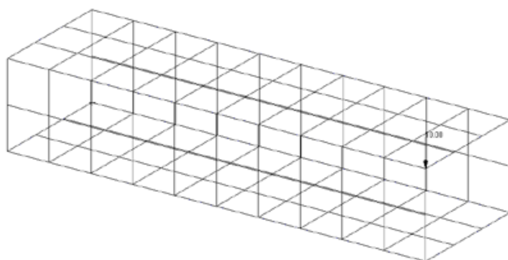


图 10-78　悬臂梁有限元模型

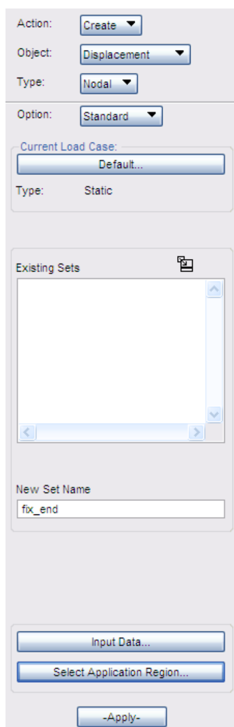
10.3.5 定义位移边界条件

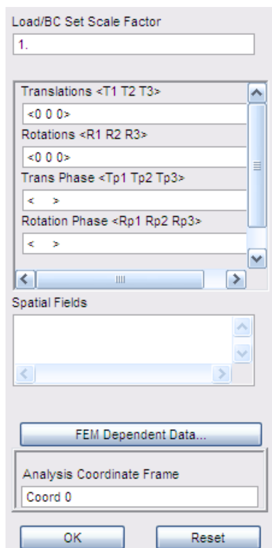
本例悬臂梁在悬臂端进行自由度全约束。

（1）在 Load/Boundary Conditions 页面中，如图 10-79 所示，重新依次设置 Action=Create，Objective=Displacement，Type=Nodal。

（2）如图 10-79 所示，在 New Set Name 文本框中输入 fix_end。

（3）如图 10-79 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 10-80 所示的 Input Data 页面。在 Translation<T1 T2 T3>和 Rotations <R1 R2 R3>中输入<0 0 0>，点击 OK 按钮退出页面。





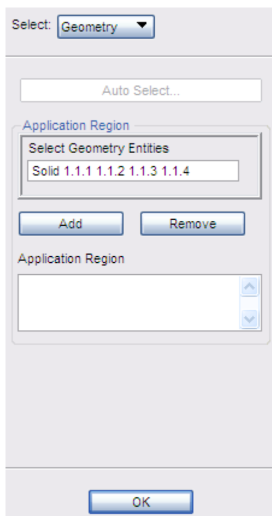


图 10-79　Load/Boundary Conditions　　图 10-80　Input Data 页面　　图 10-81　Select Application Region 页面



技巧提示

板壳单元节点共 6 个自由度，即三个方向的平移和三个方向的旋转自由度，故而约束住全部平移和旋转自由度。

（4）如图 10-79 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 10-81 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=Geometry，在 Select Geometry Entities 文本框中选择后端 4 条边，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 10-79 所示，点击 Apply 按钮生成约束边界条件，得到如图 10-82 所示的悬臂梁有限元模型。

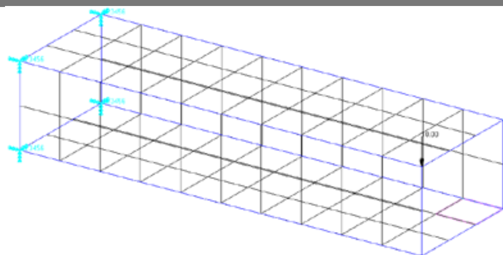


图 10-82 悬臂梁有限元模型

10.3.6 定义材料本构关系

（1）点击工具栏上的 Properties 下的 Isotropic 按钮，打开如图 10-83 中所示的 Materials 页面，依次设置 Action=Create，Object=Isotropic，Method=Manual Input。

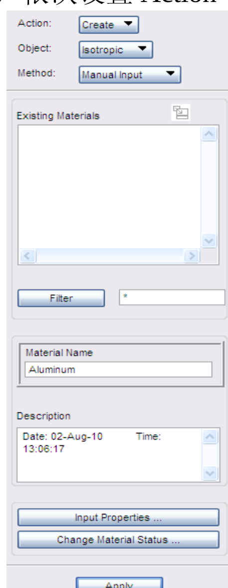


图 10-83 Materials 页面

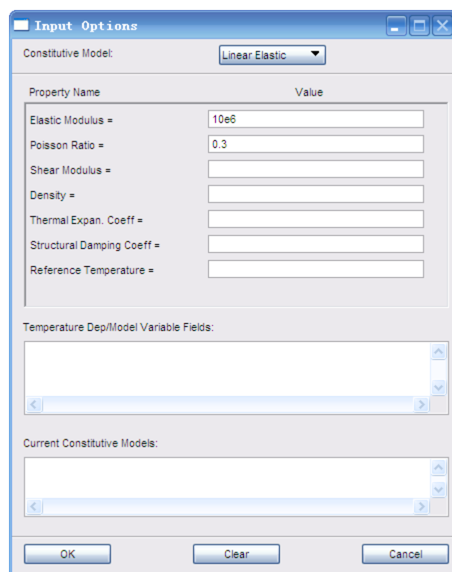


图 10-84 Input Options 页面

（2）如图 10-83 所示，在 Material Name 文本框中输入 aluminum。

（3）如图 10-83 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 10-84 所示的 Input Options 页面。在 Constitutive Model 列表框中选择 Linear Elastic。在 Elastic Modulus 文本框中输入数值 10e6，在 Possion Ratio 文本框中输入数值 0.3，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 10-83 所示，点击 Apply 按钮完成材料定义。

10.3.7 定义单元属性

本例采用板壳离散模型，在板壳单元属性定义时，除了材料信息外，还需要定义板壳的厚度。

（1）点击工具栏 Properties 下的 Shell 按钮，打开如图 10-85 所示的 Element Properties

页面，依次设置 Action=Create，Object=2D，Type=Shell。

（2）如图 10-85 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 alum_2D。

（3）如图 10-85 所示，点击 Input Properties…按钮，弹出 Input Properties 对话框。

（4）如图 10-85 所示，点击 Material Name 右侧的按钮，打开如图 10-86 所示的 Select Material 页面，点击选择列表中的 aluminum，在 Thickness 文本框中输入数值 0.1。

（5）如图 10-85 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 10-87 所示的 Select Application Region 页面。点击 Select Members 输入框，在 Picking Filters 工具栏中点击 Shell element 按钮 ，在图形区域内选择全部单元，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（6）如图 10-85 所示，点击 Apply 按钮生成板壳单元属性。

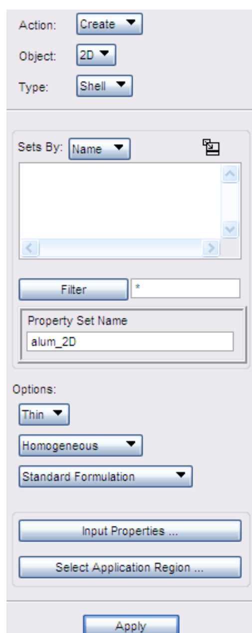


图 10-85　Element Properties 页面

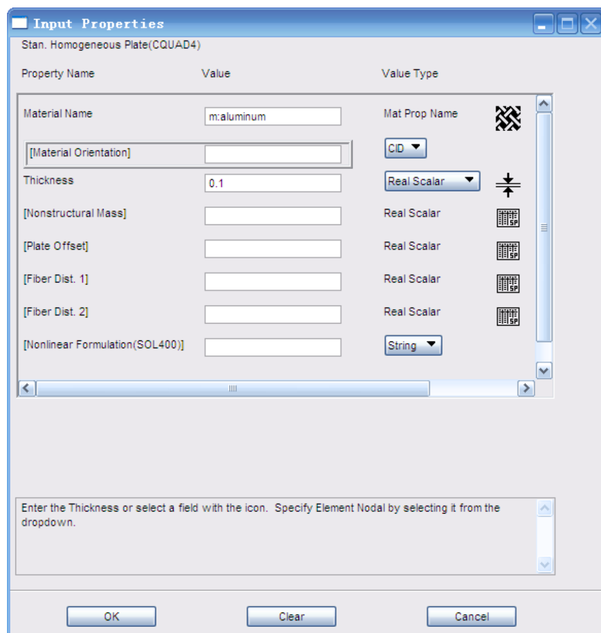


图 10-86　Input Properties 页面

10.3.8 提交分析作业

（1）点击工具栏 Analysis 按钮，打开如图 10-88 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 10-88 所示，点击 Solution Type...按钮，进入到如图 10-89 所示的 Solution Type 页面。注意到 Solution Type=LINEAR STATIC，点击 OK 退出页面。



技巧提示

在页面下方，显示了求解序列 Solution Sequence：101，这表示 MSC.Nastran 线性静力的求解序列编号为 101。

（3）如图 10-88 所示，点击 Apply 按钮，在 Patran 默认目录下生成 bdf 文件。点击

Nastran r1 图标，在弹出的对话框中选择 cant_beam_2D.bdf 文件，在 Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

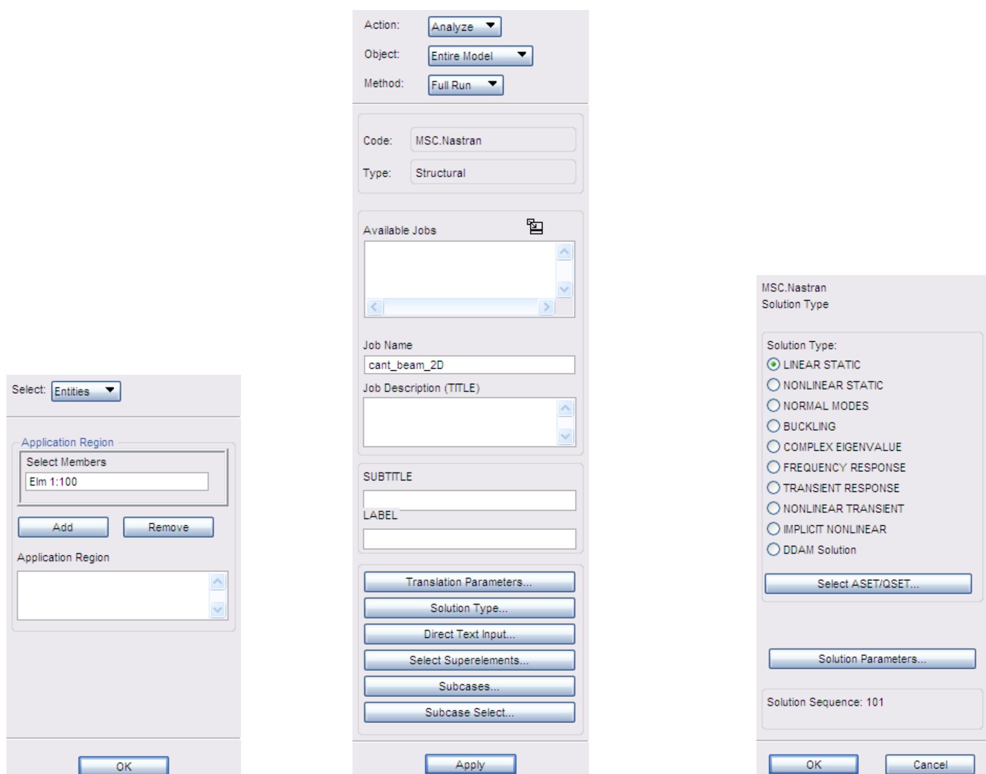


图 10-87 Select Application Region　　图 10-88 Analysis 页面　　图 10-89 Solution Type 页面

10.3.9 查看结果

（1）计算完毕后，在如图 10-90 所示的 Analysis 页面中，重新依次设置 Action=Access Results，Object=Attach XDB，Method=Result Entities。点击 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

（2）点击菜单栏 Results 命令，打开如图 10-91 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Deformation.

（3）如图 10-91 所示，在 Select Result Case 列表中选择 Default, A1:Static Subcase;-MSC.NASTRAN JOB CREATED，在 Select Deformation Result 列表中选择 Displacements; Translational，设置 Show As=Resultant，点击 Apply 按钮得到如图 10-92 所示的位移分布云图。

（4）在 Results 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Fringe，在 Select Fringe Result 列表中选择 Stress Tensor，设置 Quantity=X Component。

（5）点击 Plot Options 按钮，打开如图 10-93 所示的 Results 页面，设置 Coordinate Transformation=Global，点击 Apply 按钮得到如图 10-94 所示的悬臂梁应力分布云图。

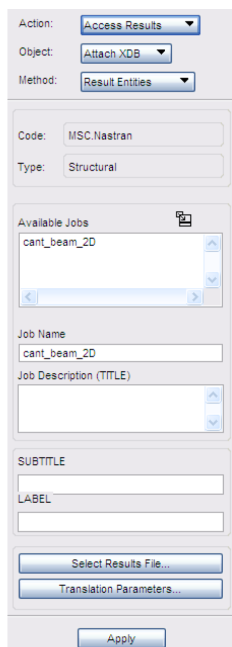


图 10-90　Analysis 页面

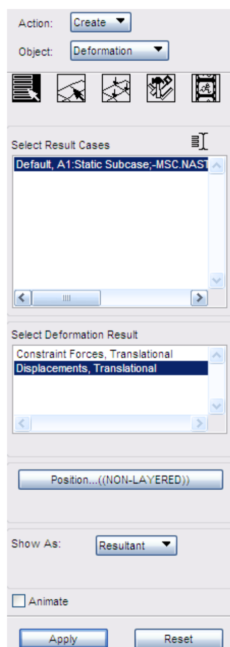


图 10-91　Results 页面

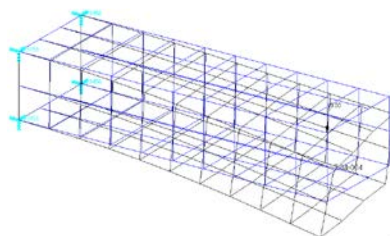


图 10-92　悬臂梁变形

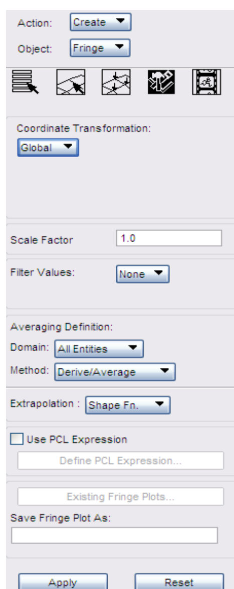


图 10-93　Results 页面

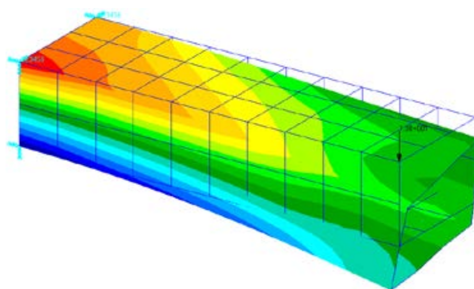


图 10-94　悬臂梁应力分布

10.4　基于一维梁单元的梁分析实例

同上述基于板壳单元建立悬臂梁网格模型不同，本例采用一维梁单元建立网格模型，为了实现角点载荷的效果，采用刚性元连接的方式，实现载荷施加的偏置。在随书光盘

的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\cant_beam_1D.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\cant_beam_1D.bdf。

10.4.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击菜单栏 File/New，输入数据库文件名 cant_beam_1D.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code= Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

10.4.2 创建网格模型

（1）点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 10-95 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Curve，Type=XYZ。

（2）如图 10-95 所示，在页面中部的 Vector Coordinates List 文本框中输入< 5 0 0 >，点击 Apply 按钮生成线段。

（3）点击工具栏上的 Meshing 按钮，打开如图 10-96 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Curve，Topology=Bar2。

（4）如图 10-96 所示，在 Curve List 文本框中框选全部线段，在 Global Edge Length 的 Value 文本框中输入数值 0.5，点击 Apply 按钮，在图形区下面的信息栏中提示生成了 10 个单元。

（5）点击 Label Control 按钮，点击 Node 显示的按钮，图形区中显示节点编号。

（6）在如图 10-97 所示的 Finite Elements 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Node，Method=Edit，在 Node Location List 文本框中输入[5, 0.5, 0.75]，点击 Apply 按钮生成节点。

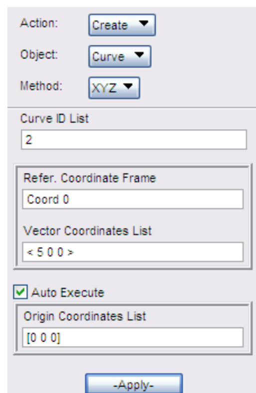


图 10-95　Geometry 页面

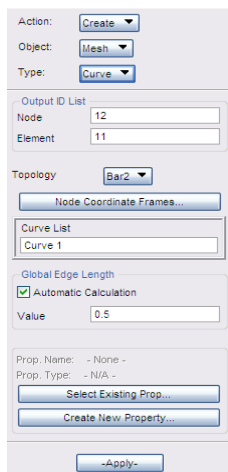


图 10-96　Finite Elements 页面

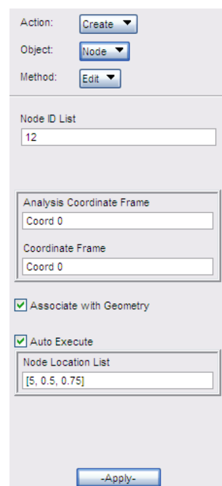


图 10-97　Finite Elements 页面

（7）在如图 10-98 所示的 Finite Elements 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=MPC，Type=RBE2。

（8）如图 10-98 所示，点击 Define Terms…按钮，打开如图 10-99 所示的 Define Terms 页面，选择 Create Dependent 选项，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Node List 文本框中选择 Node 11，在 DOFs 列表中选择全部 6 个自由度，点击 Apply 按钮。

（9）如图 10-100 所示，注意到选项转变到 Create Independent，在 Node List 文本框中选择 Node 12 点击 Apply 按钮，点击 Cancel 按钮退出页面。

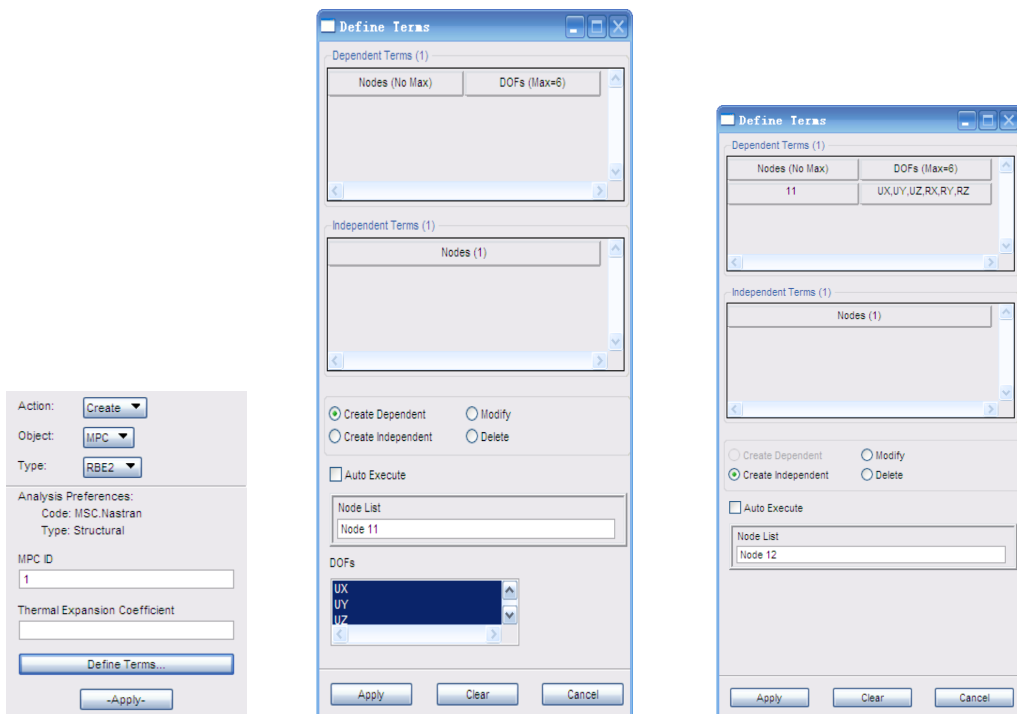


图 10-98　Finite Elements 页面　　图 10-99　Define Terms 页面　　图 10-100　Define Terms 页面

10.4.3 定义位移边界条件

（1）点击工具栏上的 Load/BCs 按钮，打开如图 10-101 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，依次设置 Action=Create，Objective=Displacement，Type=Nodal。

（2）如图 10-101 所示，在 New Set Name 文本框中输入 fix_it。

（3）如图 10-101 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 10-102 所示的 Input Data 页面，在 Translations<T1 T2 T3>和 Rotations <R1 R2 R3>文本框中输入<0,0,0>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 10-101 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 10-103 所示的 Select Application Region 页面。设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中选择 Node 1，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 10-101 所示，点击 Apply 按钮生成位移边界条件。

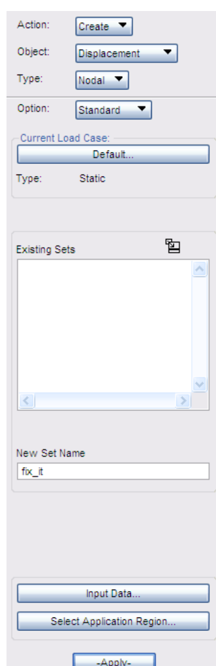


图 10-101 Load/Boundary Conditions 页面

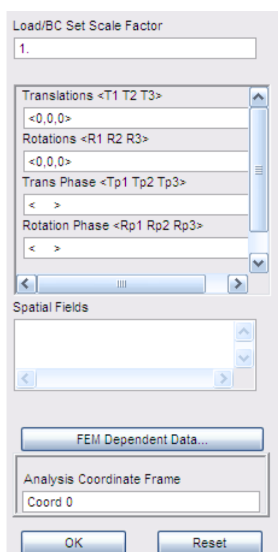


图 10-102 Input Data 页面

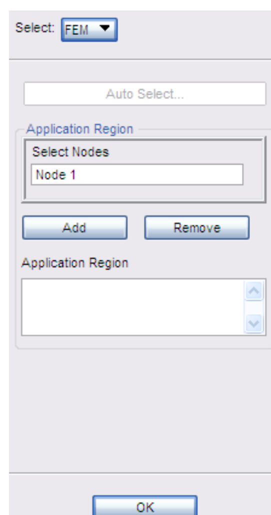


图 10-103 Select Application Region 页面

10.4.4 定义载荷边界条件

（1）如图 10-104 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Force，Type=Nodal。



图 10-104 Load/Boundary Conditions 页面

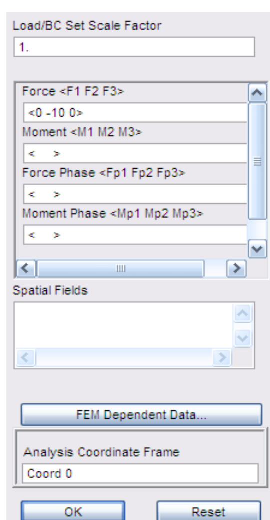


图 10-105 Input Data 页面

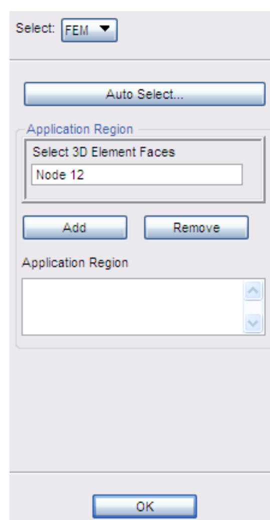


图 10-106 Select Application Region 页面

（2）如图 10-104 所示，在 New Set Name 文本框中输入 force-1D。

（3）如图 10-104 所示，在 Input Data…按钮，打开如图 10-105 所示的 Input Data 页面，在 Force<F1 F2 F3>文本框中输入<0 -10 0>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 10-104 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 10-106 所示的 Select Application Region 页面。设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中选择 Node 12，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 10-104 所示，点击 Apply 按钮生成载荷边界条件，得到如图 10-107 所示的有限元模型。

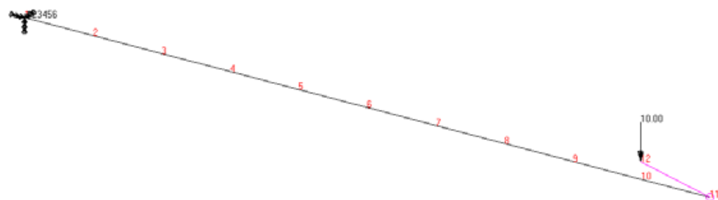


图 10-107　梁的有限元模型

10.4.5 定义材料

（1）点击工具栏上的 Properties 下的 Isotropic 按钮，打开如图 10-108 所示的 Materials 页面。依次设置 Action=Create，Objective=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 10-108 所示，在 Material Name 文本框中输入 aluminum2。

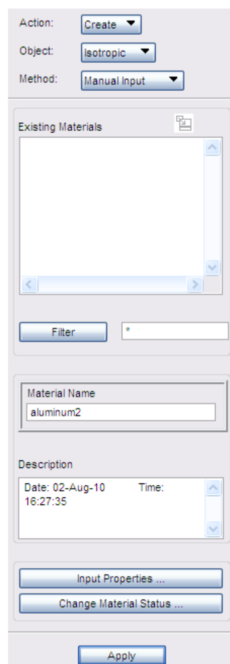


图 10-108　Materials 页面

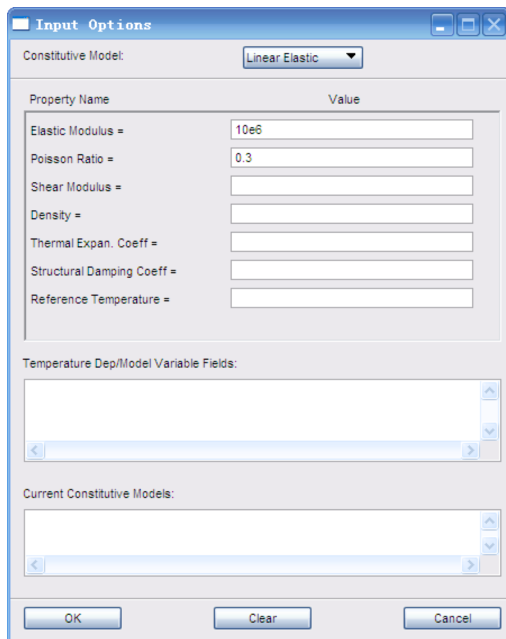


图 10-109　Input Options 页面

（3）如图 10-108 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 10-109 中所示的 Input Options 页面。在 Constitutive Model 列表框中选择 Linear Elastic。在 Elastic Modulus 文本框中输入数值 10e6，在 Possion Ratio 文本框中输入数值 0.3，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 10-108 所示，点击 Apply 按钮，完成铝材料定义。

10.4.6 定义单元属性

（1）点击 beam 属性按钮，打开如图 10-110 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=1D，Type=Beam。

（2）如图 10-110 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 alum-1D。

（3）如图 10-110 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 10-111 所示的 Input Properties 页面，在 Material Name 文本框中选择 aluminum2。

（4）如图 10-111 所示，点击页面下方的 Create Sections 按钮，打开如图 10-112 所示的 Beam Library 页面，在 New Section Name 文本框中输入 cross_sect，选择框架形状的梁截面，在页面右半部分，设置 W=1.5，H=1.0，t1=0.1，t2=0.1，点击 OK 按钮退出页面。



技巧提示

点击 Calculate/Display 按钮，可以得到梁截面的几何参数等。

（5）如图 10-111 所示，在 Bar Orientation 文本框中输入< 0 1 0 >，点击 OK 按钮退出页面。

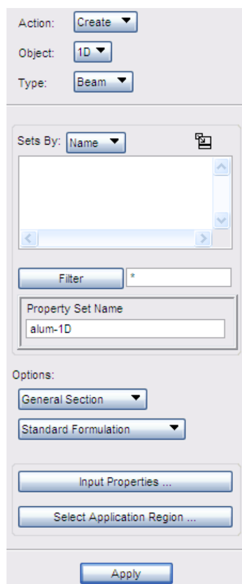


图 10-110　Element Properties 页面

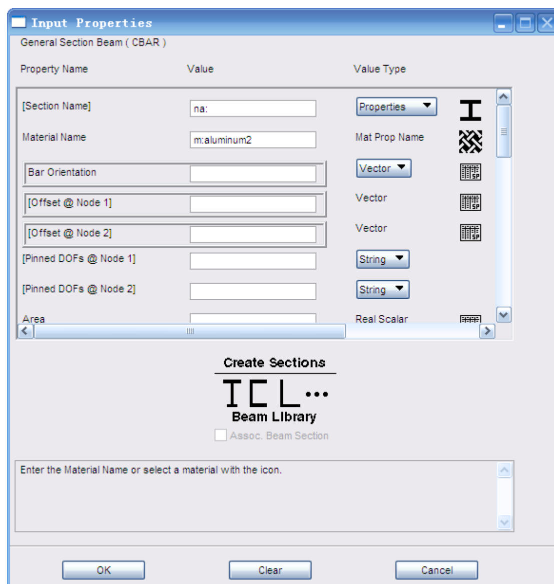


图 10-111 Input Properties 页面

（6）如图 10-110 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 10-113 所示的 Select Application Region 页面。点击 Select Members 输入框，在 Picking Filters 工具栏中点击 Curve 按钮，在图形区域内选择 Curve 1，点击 Add 按钮，添加至 Application Region

中，点击 OK 按钮退出页面。

（7）如图 10-110 所示，点击 Apply 按钮生成梁单元属性。

（8）点击命令栏 Display 下的 Load/BC/Elem. Porp…命令，打开如图 10-114 所示的 LBC/Elem. Prop. Attributes 页面，在页面底部设置 Beam Display=3D:FullSpan+Offset，点击 Apply 按钮，点击 Cancel 按钮退出页面，得到如图 10-115 所示的有限元模型。

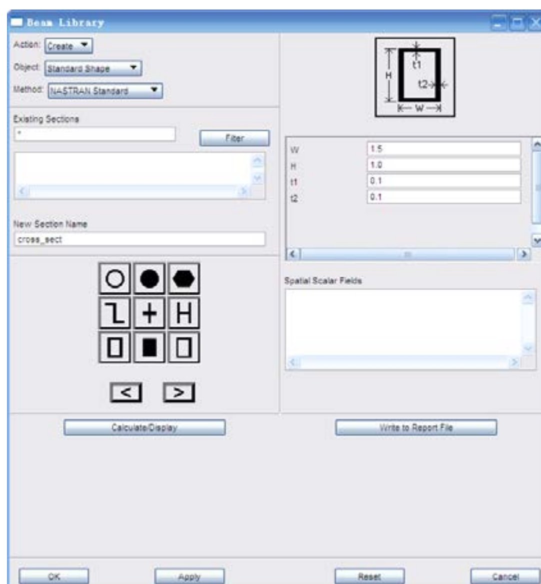


图 10-112　Beam Library 页面

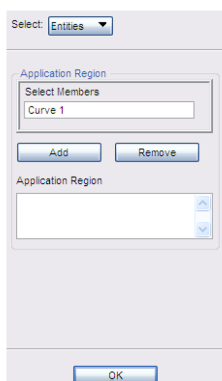


图 10-113　Select Application Region 页面

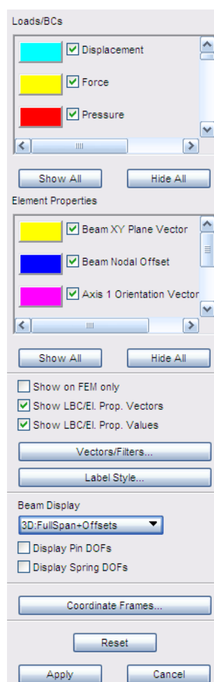


图 10-114　LBC/Elem. Prop. Attributes 页面



技巧提示

采用这种设置方式，可以得到包括截面形状的三维梁的显示模式。

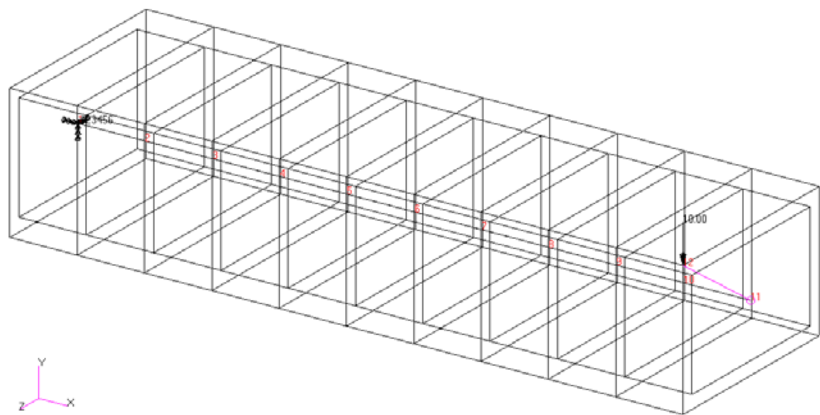


图 10-115　悬臂梁有限元模型

10.4.7 提交分析作业

（1）点击工具栏 Analysis 按钮，打开如图 10-116 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。点击页面下部的 Apply 按钮生成 cant_beam_1D.bdf 文件。

（2）点击 Nastran　r1 图标，在弹出的对话框中选择 cant_beam_1D.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行 cant_beam_1D.bdf 文件，直至分析求解结束。

10.4.8 查看结果

（1）计算完毕后，在如图 10-117 所示的 Analysis 页面，重新依次设置 Action=Access Results，Object=Attach XDB，Method=Result Entities。点击 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

（2）点击菜单栏 Results 命令，在 Results 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Deformation。

（3）在 Select Result Case 列表中选择 Default, A1:Static Subcase;-MSC.NASTRAN JOB CREATED，在 Select Deformation Result 列表中选择 Displacements; Translational，设置 Show As=Resultant，点击 Apply 按钮，得到如图 10-118 所示的悬臂梁变形结果。

（4）如图 10-119 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Fringe，在 Select Fringe Result 列表中选择 Bar Stresses, Bending，设置 Quantity=X Component。点击 Apply 按钮得到如图 10-120 所示的应力结果。



图 10-116　Analysis 页面

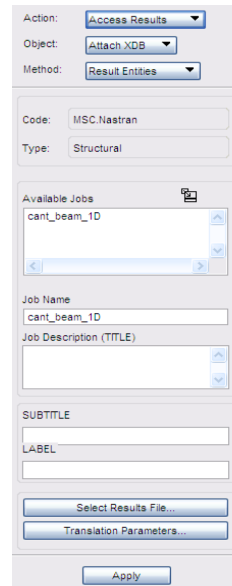


图 10-117　Analysis 页面

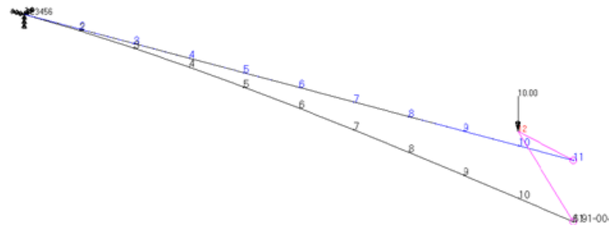


图 10-118　悬臂梁变形

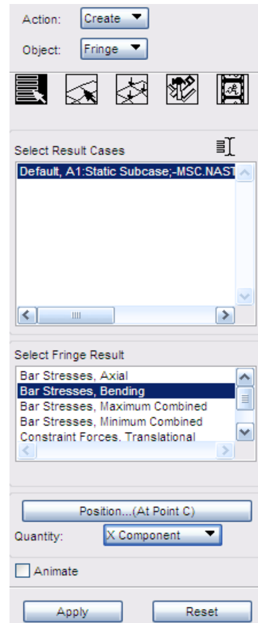


图 10-119　Results 页面

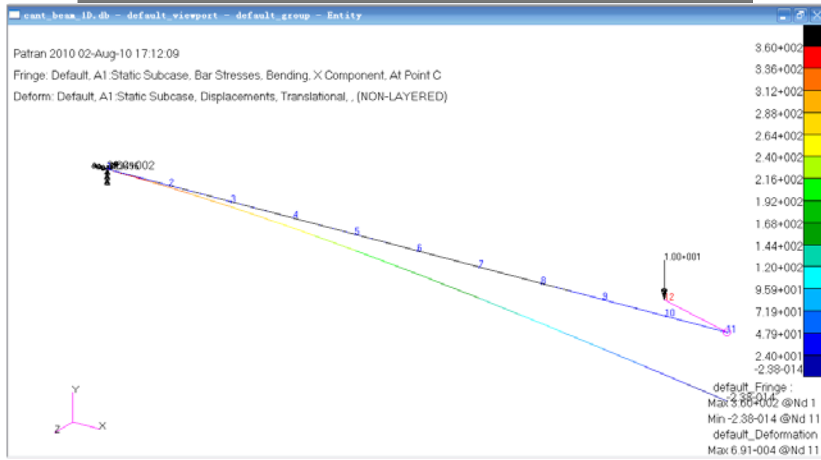


图 10-120　应力分析结果

第 11 章　静力学分析

内容导航



静力学分析主要用来求解结构在静力载荷（如集中/分布静力、温度载荷、强制位移、惯性力等）作用下的响应，并得出所需的节点位移、节点力、约束（反）力、单元内力、单元应力和应变能等。

通过本章的学习，读者可以了解使用 Patran 和 Nastran 进行静力学分析的分析流程以及各种参数的设置，完整深入掌握静力学分析的功能和方法。

重点剖析

* 手柄静力分析
* 平板受力分析
* 桁架静力学分析
* 厚壁圆筒静力分析

11.1　弹性力学的基本方程和变分原理

11.1.1　弹性力学基本方程的矩阵形式

弹性体在载荷作用下，体内任意一点的应力状态可由 6 个应力分量 σ_x，σ_y，σ_z，τ_{xy}，τ_{yz}，τ_{zx} 来表示，其中 σ_x，σ_y，σ_z 为正应力；τ_{xy}，τ_{yz}，τ_{zx} 为切应力。应力分量的正负符号规定如下：如果某一个面的外法线方向与坐标轴的正方向一致，这个面上的应力分量就以沿坐标轴正方向为正，与坐标轴反向为负；相反，如果某一个面的外法线方向与坐标轴的负方向一致，这个面上的应力分量就以沿坐标轴负方向为正，与坐标轴同向为负。

应力分量的矩阵称为应力列阵或应力向量。其形式为

$$\boldsymbol{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_y & \sigma_z & \tau_{xy} & \tau_{yz} & \tau_{zx} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} \tag{11.1}$$

弹性体在载荷作用下，还将产生位移和变形，即弹性体位置的移动和形状的改变。

弹性体内任一点的位移可由指教坐标系的三个位移分量 u，v，w 表示，矩阵形式为

$$\boldsymbol{u} = \begin{bmatrix} u & v & w \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} \tag{11.2}$$

弹性体内任意一点的应变，可由六个应变分量 ε_x，ε_y，ε_z，γ_{xy}，γ_{yz}，γ_{xz} 来表示。其中 ε_x，ε_y，ε_z 为正应变，γ_{xy}，γ_{yz}，γ_{xz} 为剪应变。应变的正负号与应力的正负号相对应，即应变以伸长时为正，缩短为负；剪应变以两个沿坐标轴正方向的线段组成的直角

变小为正，反之为负。应变的矩阵形式为

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \varepsilon_y & \varepsilon_z & \gamma_{xy} & \gamma_{yz} & \gamma_{zx} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} \tag{11.3}$$

对于三维问题，弹性力学基本方程可写成如下形式。

1．平衡方程

弹性体 V 域内任一点沿坐标轴 x， y，z 方向的平衡方程为

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \bar{f}_x = 0 \tag{11.4}$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \bar{f}_y = 0 \tag{11.5}$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \bar{f}_z = 0 \tag{11.6}$$

其中 $\bar{f}_x$， $\bar{f}_y$， $\bar{f}_z$ 为单位体积的体积力在 x， y，z 方向的分量。

平衡方程的矩阵形式为

$$\boldsymbol{A\sigma} + \bar{\boldsymbol{f}} = 0 \quad（在 V 内） \tag{11.7}$$

其中 $\boldsymbol{A}$ 是微分算子

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \tag{11.8}$$

$\bar{\boldsymbol{f}}$ 是体积力分量， $\bar{\boldsymbol{f}} = \begin{bmatrix} f_x & f_y & f_z \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$

2．几何方程-应变-位移关系

在微小位移和微小变形的情况下，略去位移导数的高次幂，则应变向量和位移向量间的几何关系为

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}，\ \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}，\ \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \tag{11.9}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \gamma_{yx}，\ \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} = \gamma_{zy}，\ \gamma_{zx} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} = \gamma_{xz} \tag{11.10}$$

几何方程的矩阵形式为

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{Lu} \qquad 在 V 内 \tag{11.11}$$

其中 $\boldsymbol{L}$ 为微分算子

$$\boldsymbol{L} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \tag{11.12}$$

3．物理方程-应力-应变关系

弹性力学中应力-应变之间的转换关系亦称为弹性关系。对于各向同性的线弹性材料，应力通过应变的表达式可用矩阵式表示，其数学表达式为

$$\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{D\varepsilon} \tag{11.13}$$

其中弹性矩阵 $\boldsymbol{D}$ 的表达式为

$$\boldsymbol{D} = \frac{E(1-\upsilon)}{(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}\begin{bmatrix} 1 & \frac{\upsilon}{1-\upsilon} & \frac{\upsilon}{1-\upsilon} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\upsilon}{1-\upsilon} & 1 & \frac{\upsilon}{1-\upsilon} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\upsilon}{1-\upsilon} & \frac{\upsilon}{1-\upsilon} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\upsilon}{2(1-\upsilon)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\upsilon}{2(1-\upsilon)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\upsilon}{2(1-\upsilon)} \end{bmatrix} \tag{11.14}$$

物理方程的另一种形式为

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{C\sigma} \tag{11.15}$$

其中$\boldsymbol{C}$是柔度矩阵，$\boldsymbol{C}=\boldsymbol{D}^{-1}$，它和弹性矩阵是互逆关系。

弹性体 V 的全部边界 S。一部分边界上已知外力$\overline{T}_x$，$\overline{T}_y$，$\overline{T}_z$称为力的边界条件，这部分边界用S_σ表示；另一部分边界上弹性体的位移$\overline{u}$，$\overline{v}$，$\overline{w}$已知，称为几何边界条件或位移边界条件，这部分边界用S_u表示。这两部分边界构成弹性体的全部边界，即

$$S_\sigma + S_u = S \tag{11.16}$$

4．力的边界条件

弹性体在边界上单位面积的内力为T_x，T_y，T_z，在边界S_σ上已知弹性体单位面积上作用的面积力为$\overline{T}_x$，$\overline{T}_y$，$\overline{T}_z$，根据平衡应有

$$T_x = \overline{T}_x,\ T_y = \overline{T}_y,\ T_z = \overline{T}_z \tag{11.17}$$

设边界外法线为 N，其方向余弦为n_x，n_y，n_z，则边界上弹性体的内力可由下式确定

$$T_x = n_x\sigma_x + n_y\tau_{yx} + n_z\tau_{zx} \tag{11.18}$$

$$T_y = n_x\tau_{xy} + n_y\sigma_y + n_z\tau_{zy} \tag{11.19}$$

$$T_z = n_x\tau_{xz} + n_y\tau_{yz} + n_z\sigma_z \tag{11.20}$$

以上公式的矩阵形式为

$$\boldsymbol{T} = \overline{\boldsymbol{T}} \quad （在 S_\sigma 上） \tag{11.21}$$

其中$\boldsymbol{T} = \boldsymbol{n\sigma}$

$$\boldsymbol{n} = \begin{bmatrix} n_x & 0 & 0 & n_y & 0 & n_z \\ 0 & n_y & 0 & n_x & n_z & 0 \\ 0 & 0 & n_z & 0 & n_y & n_x \end{bmatrix} \tag{11.22}$$

5．几何边界条件

在S_u上弹性体的位移已知为$\overline{u}$，$\overline{v}$，$\overline{w}$，即有

$$u=\bar{u}\text{，}\ v=\bar{v}\text{，}\ w=\bar{w} \tag{11.23}$$

用矩阵形式表示是

$$\boldsymbol{u}=\bar{\boldsymbol{u}}\ \text{（在}\ S_u\ \text{上）} \tag{11.24}$$

以上是三维弹性力学问题中的一组基本方程和边界条件。

6．弹性体的应变能和余能

单位体积的应变能（应变能密度）

$$U(\boldsymbol{\varepsilon})=\frac{1}{2}\boldsymbol{\varepsilon}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{D}\boldsymbol{\varepsilon} \tag{11.25}$$

应变能是个正定函数，只有当弹性体内所有的点都没有应变时$(\varepsilon=0)$，应变能值为零。

单元体积的余能（余能密度）

$$V(\boldsymbol{\sigma})=\frac{1}{2}\boldsymbol{\sigma}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{C}\boldsymbol{\sigma} \tag{11.26}$$

余能也是正定函数，在线性弹性力学中弹性体的应变能等于余能。

11.1.2 弹性力学基本方程的张量形式

弹性力学基本方程亦可用笛卡尔张量符号来表示，使用附标求和的约定可以得到简洁的方程表达式

在直角坐标系x_1，x_2，x_3中，应力张量和应变张量都是对称的二阶张量，分别用σ_{ij}和ε_{ij}表示，且有$\sigma_{ij}=\sigma_{ji}$，$\varepsilon_{ij}=\varepsilon_{ji}$。其他位移张量、体积力张量、面积力张量等都是一阶张量，采用u_i，$\bar{f}_i$，$\bar{T}_i$等表示。

1．平衡方程

$$\sigma_{ij,j}+\bar{f}_i=0 \tag{11.27}$$

式中下标“，j”表示对独立坐标x_j求偏导数。

式(11.27)的展开形式是

$$\frac{\partial\sigma_{11}}{\partial x_1}+\frac{\partial\sigma_{12}}{\partial x_2}+\frac{\partial\sigma_{13}}{\partial x_3}+\bar{f}_1=0 \tag{11.28}$$

$$\frac{\partial\sigma_{21}}{\partial x_1}+\frac{\partial\sigma_{22}}{\partial x_2}+\frac{\partial\sigma_{23}}{\partial x_3}+\bar{f}_2=0 \tag{11.29}$$

$$\frac{\partial\sigma_{31}}{\partial x_1}+\frac{\partial\sigma_{32}}{\partial x_2}+\frac{\partial\sigma_{33}}{\partial x_3}+\bar{f}_3=0 \tag{11.30}$$

2. 几何方程

$$\varepsilon_{ij}=\frac{1}{2}\left(u_{i,j}+u_{j,i}\right)\ \text{（在}\ V\ \text{内）} \tag{11.31}$$

3．物理方程

广义虎克定理假定每个应力分量与各个应变分量成比例。广义虎克定理可以用张量符号表示为

$$\sigma_{ij}=D_{ijkl}\varepsilon_{kl}\ \text{（在}\ V\ \text{内）} \tag{11.32}$$

81 个比例常数$\boldsymbol{D}_{ijkl}$称为弹性常数，是四阶张量。由于应力张量是对称张量，因此张量$\boldsymbol{D}_{ijkl}$

的前两个指标具有对称性。同理，由于应变张量也是对称张量，$\boldsymbol{D}_{ijkl}$的后两个指标具有对称性，即有

$$\boldsymbol{D}_{ijkl}=\boldsymbol{D}_{jikl}\ ,\ \boldsymbol{D}_{ijkl}=\boldsymbol{D}_{ijlk} \tag{11.33}$$

当变形过程是绝热或等温过程时，还有

$$\boldsymbol{D}_{ijkl}=\boldsymbol{D}_{klij} \tag{11.34}$$

考虑到上述对称性后，对于最一般的线弹性材料，即在不同方向具有不同弹性性质的材料，81 个弹性常数中有 21 个是独立的。对于各向同性的线弹性材料，独立的弹性常数只有两个。

4．力边界条件

$$T_i=\overline{T_i}\quad（在\ S_\sigma\ 上） \tag{11.35}$$

其中$T_i=\sigma_{ij}n_j$，而n_j是边界法线 N 的三个方向余弦。

5．位移边界条件

$$u_i=\overline{u}_i \tag{11.36}$$

6．应变能和余能

单位体积应变能为

$$U\left(\varepsilon_{mn}\right)=\frac{1}{2}D_{ijkl}\varepsilon_{ij}\varepsilon_{kl} \tag{11.37}$$

单位体积余能为

$$V\left(\sigma_{mn}\right)=\frac{1}{2}C_{ijkl}\sigma_{ij}\sigma_{kl} \tag{11.38}$$

11.2　平板受力分析

薄板长为 5 in，宽为 1 in，厚度为 0.1 in，材料的弹性模量为 10e6，泊松比为 0.3，其一端固定，在另一端施加 8N 的竖直向下的载荷，分析在该载荷作用下，板的变形及应力分布情况。问题求解过程如下。

11.2.1 创建一个数据文件

选择菜单 File>New 命令，输入文件名 plate，单击 OK 创建数据文件 plate.db。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Structure。

11.2.2 创建几何模型

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，开始创建几何模型，如图 11-1 所示，Action>Create, Object>Surface, Method>XYZ，在 Vector Coordinates List 选项中，输入<5 1 0>，单击 Apply，创建平面。

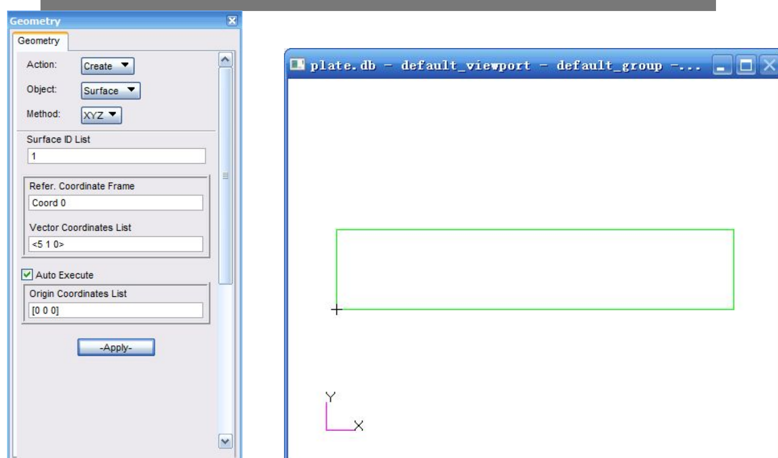


图 11-1　创建几何平面

11.2.3 划分有限元网格

单击 ***Meshing*** 应用工具按钮并在 Meshers 中选择 Surface 划分工具（Action>Create, Object>Mesh, Type>Surface），开始创建有限元模型。

Elem Shape 选择 Quad，Mesher 选择 Isomesh，Topology 选择 Quad4，在 Surface List 中，选择创建的平面，单击 Apply 自动完成网格划分，创建完成的有限元模型如图 11-2 所示。

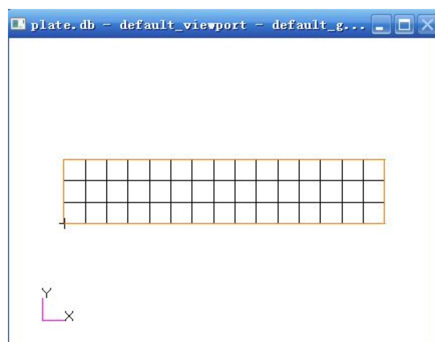


图 11-2　有限元模型

11.2.4 设置边界条件及施加载荷

（1）创建位移边界条件。单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮并选择（Action>Create, Object>Displacement, Type>Nodal）。

在 New Set Name 选项中输入 Dis，单击 Input data 按钮，输入 Translations <0 0 0>和 Rotations <0 0 0>，单击 OK。单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选

择 Geometry，如图 11-3 所示，单击曲线图标，然后选择平面的边，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。施加边界条件的有限元模型如图 11-3 所示。

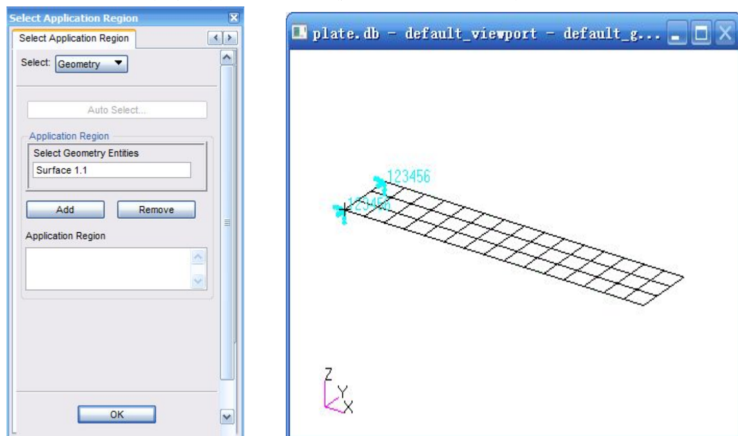


图 11-3　施加约束后的有限元模型

（2）施加载荷，选择 Force（Action>Create, Object>Force, Type>Nodal）。在 New Set Name 中输入 Force，单击 Input Data 按钮，输入 Force <0 0 -8>,单击 OK。单击 Select Application Region 按钮，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，在 Select Nodes 选项中选择右边最底部的节点，单击 Add、OK、Apply，施加载荷后的有限元模型如图 11-4 所示。

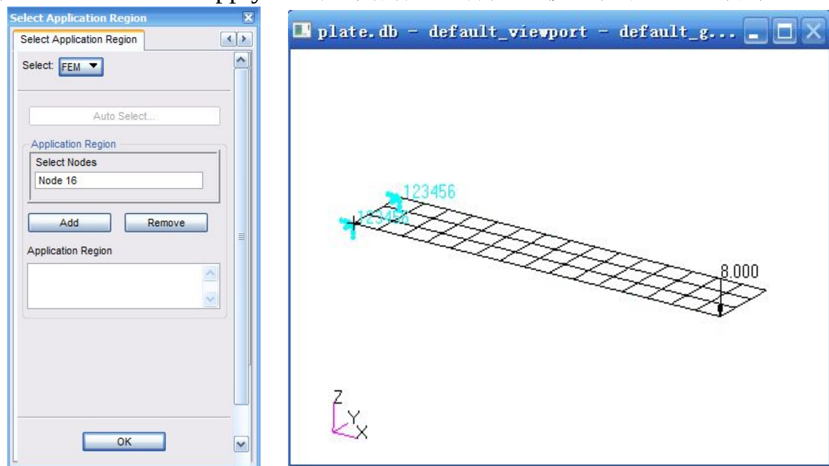


图 11-4　施加约束和载荷后的有限元模型

11.2.5 定义材料属性

单击 ***Materials*** 应用工具按钮，选择 Isotropic（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Manual Input）。

Material Name: Al，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Elastic Modulus 中输入 10e6，在 Poisson Ratio 中输入 0.3，单击 OK、Apply，完成材料的创建，如图 11-5 所示。

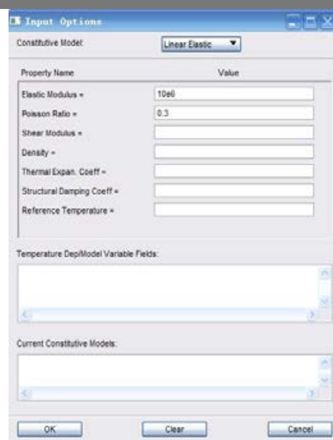


图 11-5　定义材料常数

11.2.6 定义单元属性

单击 ***Properties*** 应用工具按钮，选择 2D Properties 中的 Shell （Action>Create，Object>2D，Type>Shell）。

在 Property Set Name 中输入 Plate，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 Al，在 Thickness 选项中输入 0.1，单击 OK；在 Application Region 选项框，选择平板，如图 11-6 所示，点击 Add、OK、Apply，完成定义单元属性。

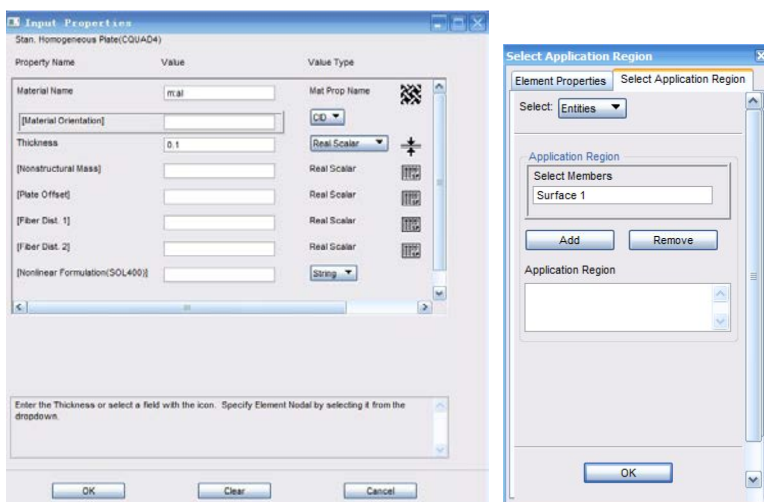


图 11-6　定义单元属性

11.2.7 进行分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，Action>Analyze，Object>Entire Model，Method>Full Run。

打开 Solution Type 按钮，选择求解类型为 LINEAR STATIC，单击 OK。在 Subcases>Output Requests 中可以定义所需输出的数据类型，这里采用预设。单击 Apply，弹出 Nastran 计算对话框，开始计算。

11.2.8 查看分析结果

（1）单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，在 Access Results 中选择 XDB 按钮（Action> Access Results，Object>Attach XDB，Method>Result Entities）。

单击 Select Results File 按钮，选择 plate.xdb，单击 OK、Apply。

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮，在 Quick plot 中单击（Action>Create，Object>Quick plot）。

在 Select Result Cases 中选择 Default，A1，在 Select Fringe Result 选项中选择 Displacements，Translational，在 Select Deformation Result 选项中选择 Displacement Translational，单击 Apply，位移云图如图 11-7 所示。

在 Select Fringe Result 选项中选择 Stress Tensor，在 Quantity 选项中选择 Von. Mises，单击 Apply 按钮，生成如图 11-8 所示的应力云图。

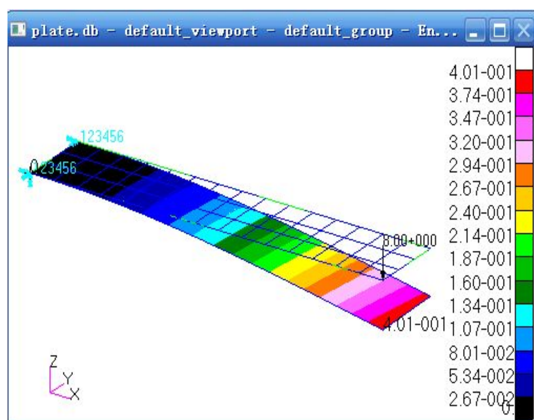


图 11-7　位移云图

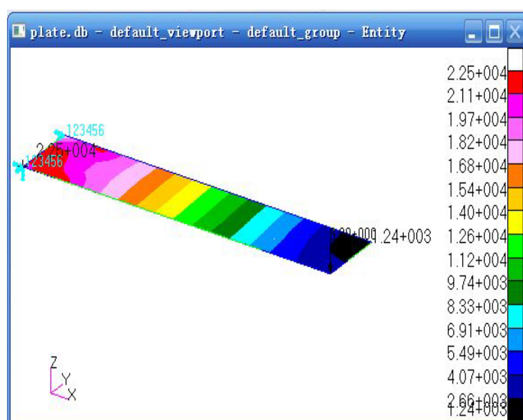


图 11-8　应力云图

11.3　铰接桁架的受力分析

如图 11-9 所示平面桁架结构，左端固定，右端滚轮约束，每根杆的截面积为 5.25in^2，材料的弹性模量为 1.76e6 psi，泊松比为 0.3，许用拉应力为 1900 psi，许用压应力为 1900 psi，在点 2,4,5 处施加水平向左和竖直向下的集中载荷，载荷的大小为 1000 N，试分析在该载荷作用下结构的变形情况。问题求解过程如下。

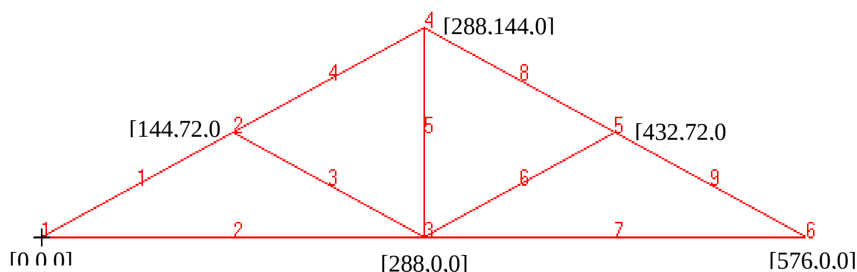


图 11-9　有限元模型及载荷工况

11.3.1 创建一个数据文件

选择菜单 File>New 命令，输入文件名 Truss，单击 OK 创建数据文件 Truss.db。选择分析代码为 Nastran，选择分析类型为 Structure，如图 11-10 所示。

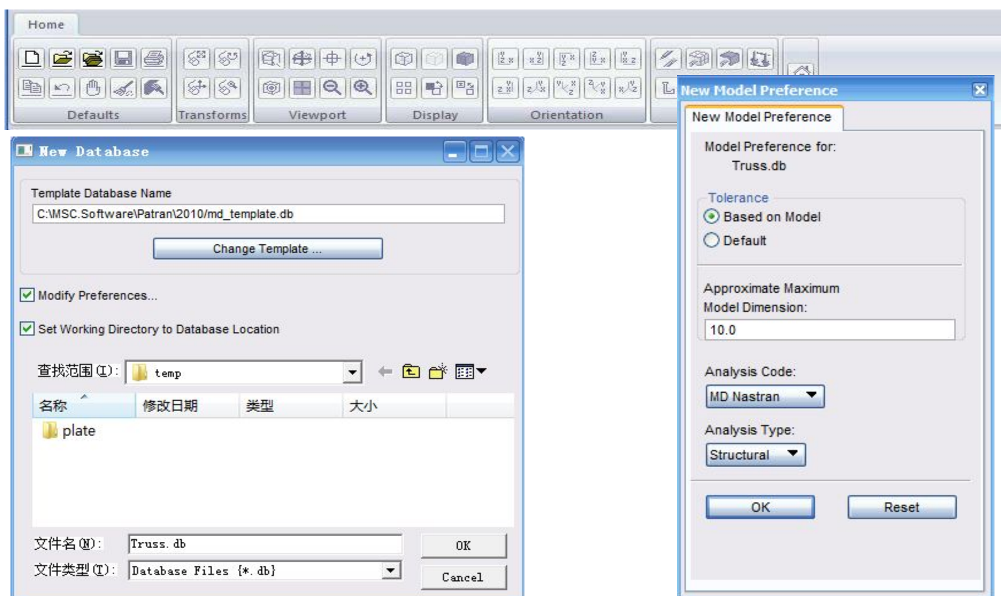


图 11-10　创建数据文件

11.3.2 划分有限元网格

（1）创建节点：单击按钮，开始创建有限元模型（Action>Create，Object>Node，Method>Edit），关闭 Associate with Geometry，输入第一个节点的坐标是[0 0 0]，单击 Apply 按钮，如图 11-11 所示。

重复以上步骤，输入表 11-1 所示的所有数据。单击 Show Label 按钮，创建的节点如图 11-12 所示。

表 11-1 节点坐标

节点号	2	3	4	5	6
节点坐标	144,72,0	288,0,0	288,144,0	432,72,0	576,0,0

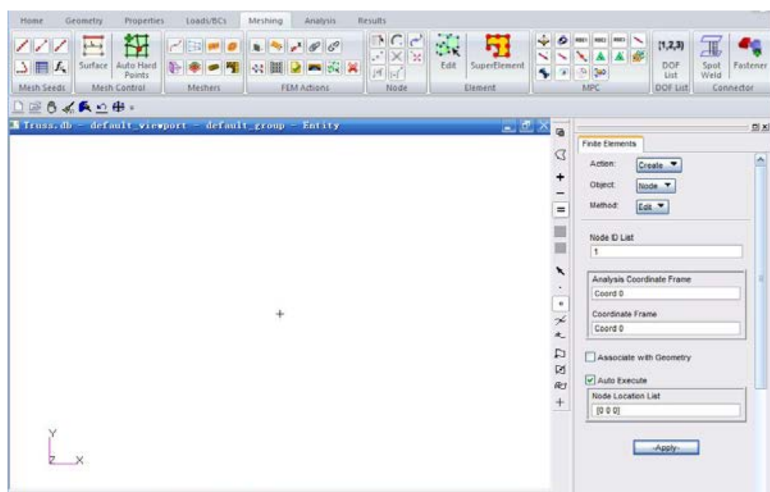


图 11-11　创建节点

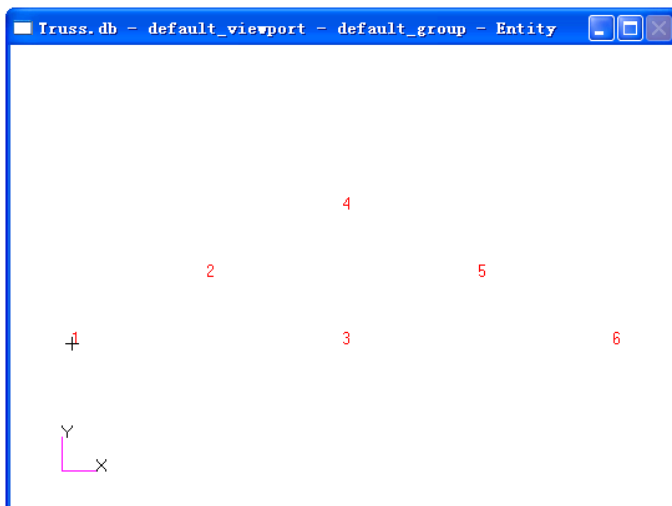


图 11-12　节点分布视图

（2）创建单元：单击（Action>Create，Object>Element，Method>Edit），将单元类型改为 Bar，将光标移动到节点输入框，“Node 1=”和“Node 2=”，在屏幕上分别选择 Node 1 和 Node 2 创建第一个单元，Node 1 和 Node 3 创建第二个单元，Node 2 和 Node 3 创建第三个单元，Node 2 和 Node 4 创建第四个单元，Node 3 和 Node4 创建第五个单元，Node 3 和 Node 5 创建第六个单元，Node 3 和 Node 6 创建第七个单元，Node 4 和 Node 5 创建第八个单元，Node 5 和 Node 6 创建第九个单元，如图 11-13 所示。创建完成后的图形如图 11-14 所示。

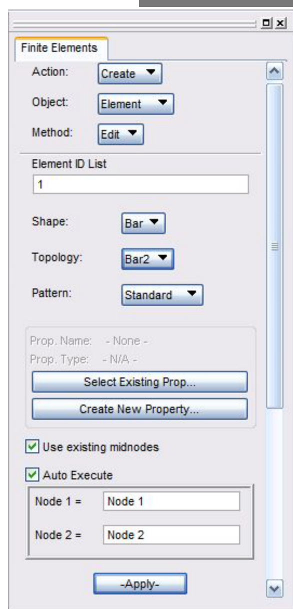


图 11-13　创建单元

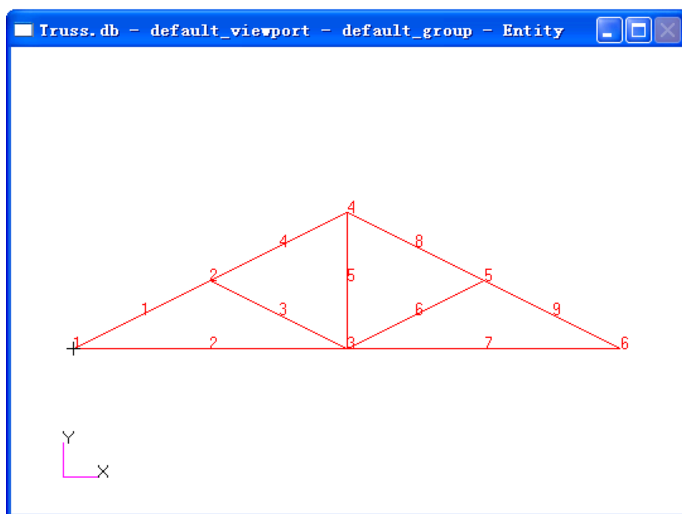


图 11-14　一维单元视图

11.3.3 设置边界条件及施加载荷

（1）创建 1 号节点的位移约束：单击（Action>Create，Object>Displacement，Type>Nodal），在 New Set Name 选项中输入 Fixed，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>输入框中，输入<0 0 0>，单击 OK。单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，如图 11-15 所示，选中 Node 1，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

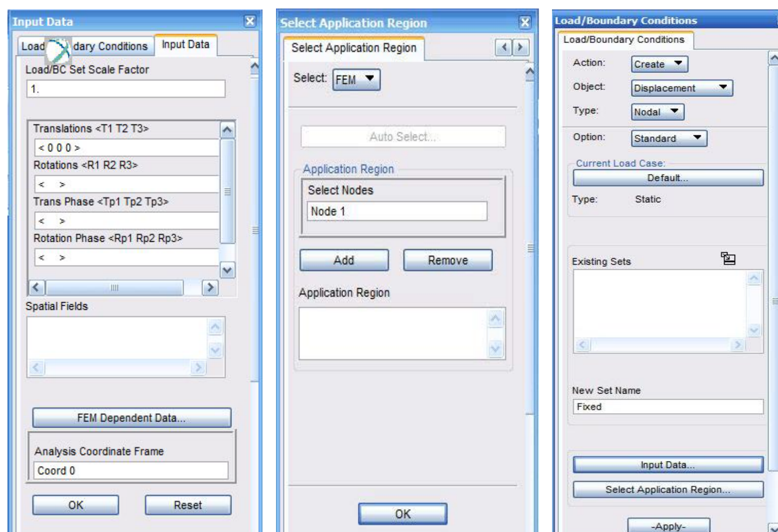


图 11-15　创建 1 号节点的位移约束

（2）约束所有节点的转动自由度：单击（Action>Create，Object>Displacement，

Type>Nodal），在 New Set Name 选项中输入 Rot，单击 Input data 按钮，在 Rotations<R1 R2 R3>输入框中，输入<0 0 0>，单击 OK。单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，如图 11-16 所示，选中 Node 1:6，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

（3）创建 Node 6 的滚动绞支约束：单击（Action>Create，Object>Displacement，Type>Nodal），在 New Set Name 选项中输入 Fixed6，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>输入框中，输入< ,0,0>，单击 OK。单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选中 Node 6，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建，如图 11-17 所示。

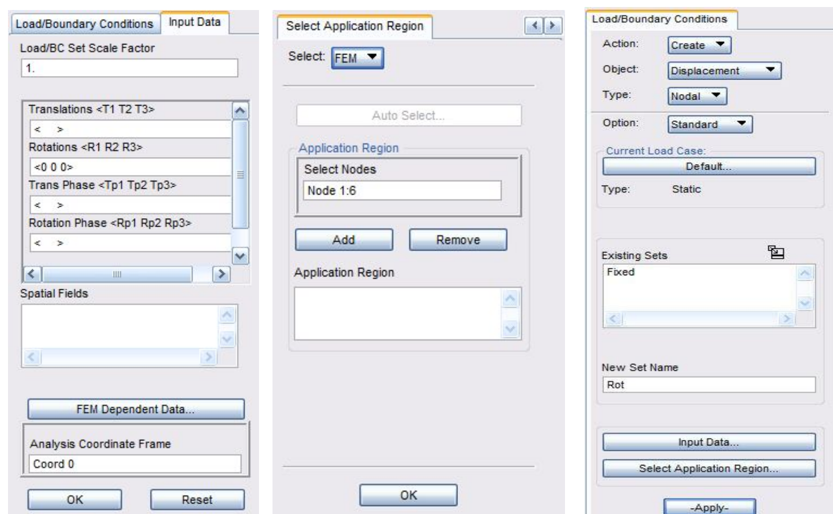


图 11-16　约束所有节点的转动自由度

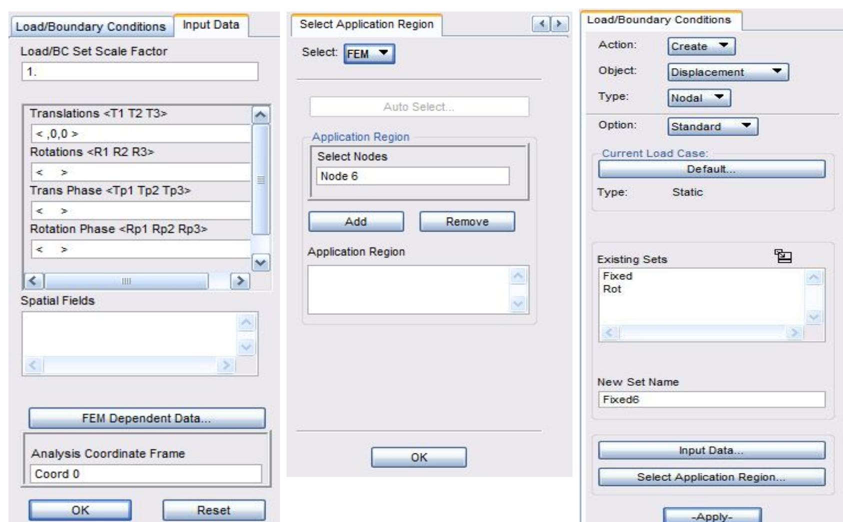


图 11-17　创建 Node 6 的滚动绞支约束

（4）创建 Node 2 4 5 的水平载荷：单击（Action>Create, Object>Force, Type>Nodal），输入载荷的名字为 f，单击 Input Data 按钮，在 Force 输入框中输入<-1000,0,0>，单击 OK

按钮，单击 Select Application Region 按钮，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，如图 11-18 所示，选中 Node 2 4 5，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成水平载荷的创建。

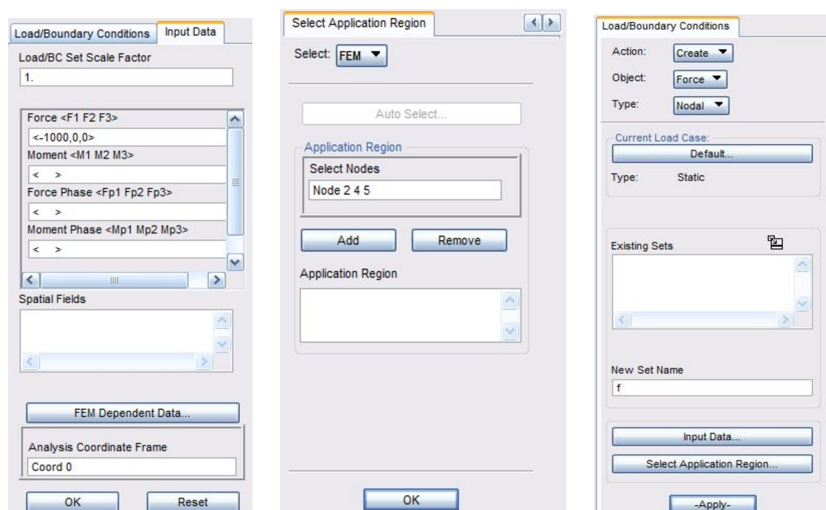


图 11-18　创建 Node 2 4 5 的水平载荷

（5）创建 Node 2 4 5 的垂直载荷：单击（Action>Create，Object> Force，Type>Nodal），输入载荷的名字为 v，单击 Input Data 按钮，在 Force 输入框中输入<0,-1000,0>，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region 按钮，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选中 Node 2 4 5，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成垂直载荷的创建，如图 11-19 所示。

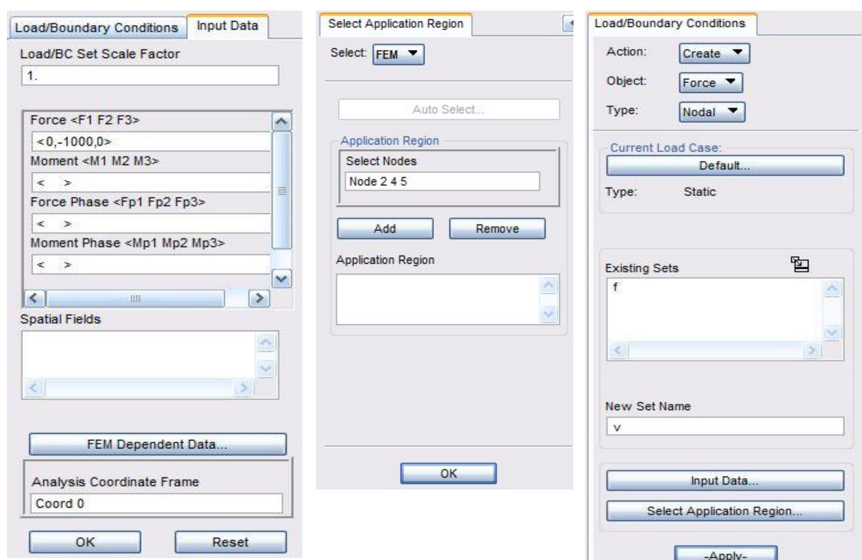


图 11-19　创建 Node 2 4 5 的垂直载荷

当完成以上步骤后的视图如图 11-20 所示，显示的载荷为 1414 N，这是水平方向载荷和垂直方向载荷合成的结果。

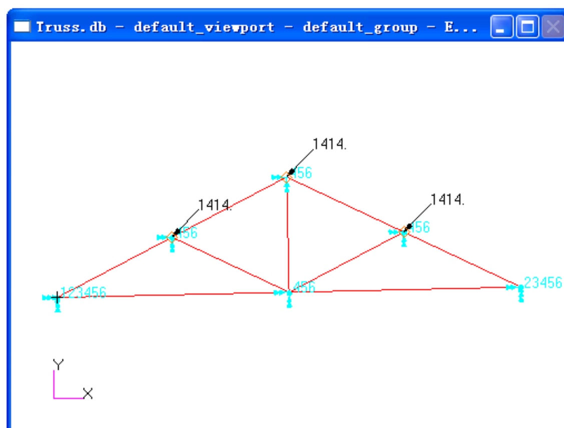


图 11-20　创建边界条件后的模型

11.3.4 定义材料属性

（1）创建材料线弹性本构模型：单击 ***Materials*** 应用工具按钮，选择 Isotropic（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Manual Input），Material Name:steel，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，如图 11-21 所示，Constitutive Model 选择 Linear Elastic，在 Elastic Modulus 中输入 1.76e6，在 Poisson Ratio 中输入 0.3，单击 OK、Apply，完成材料的创建。

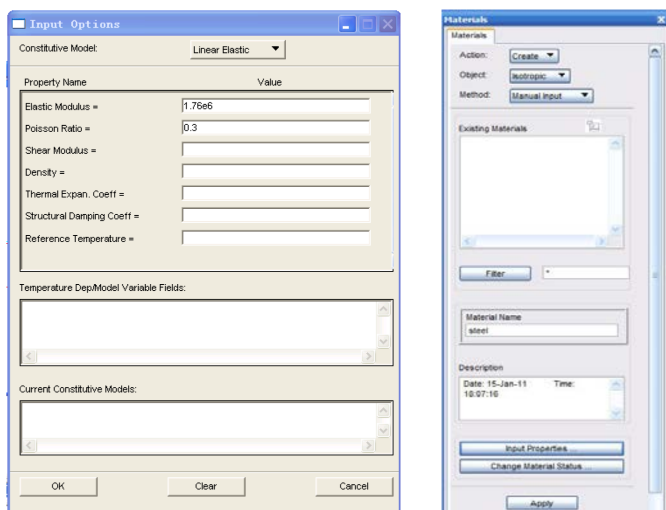


图 11-21　创建材料线弹性本构模型

（2）创建材料失效本构模型：再次单击 Input Properties 按钮，如图 11-22 所示。将 Constitutive Model 设置为 Failure，在 Tension Stress Limit 中输入 1900，在 Compression Stress Limit 中输入 1900，单击 OK、Apply 按钮，完成失效材料模型的创建。

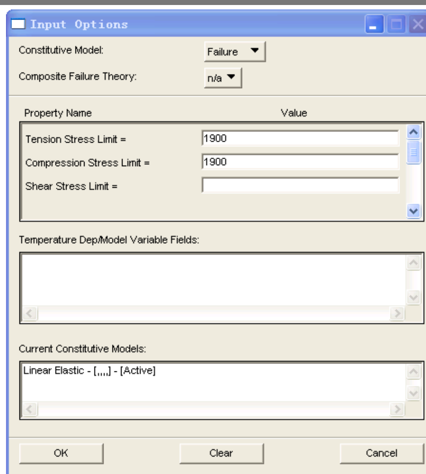


图 11-22　创建材料失效本构模型

11.3.5 定义单元属性

单击（Action>Create，Object>1D，Type>Rod，在 Property Set Name 中输入 rod，打开 Input Properties 按钮对应的面板。在 Mat Prop Name 中选择 steel，在 Area 选项中输入 5.0，单击 OK；将光标放到 Application Region 选项框中，在过滤菜单中选择 1D 单元图标，在屏幕上拾取所有的单元 Elm 1:9，单击 Add、Apply，完成单元属性的定义，如图 11-23 所示。

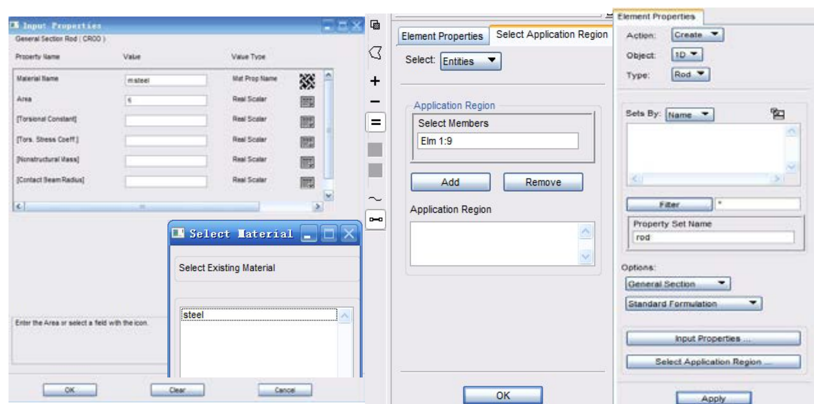


图 11-23　定义单元属性

11.3.6 分析模型

分析模型时，各参数采用软件预设，Action>Analyze，Object>Entire Model，Method>Full Run，打开 Solution Type 按钮，选择求解类型为 LINEAR STATIC，点击 Apply 运行 Nastran

计算。

11.3.7 查看分析结果

（1）读入结果文件：单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，在 Access Results 中选择 XDB 按钮 （Action>Access Results，Object>Attach XDB，Method>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 Truss.xdb，单击 OK、Apply。

（2）绘制应力云图和变形图：单击 ***Results*** 应用工具按钮，在 Quick plot 中单击 （Action>Create，Object>Quick plot），在 Select Deformation Result 选项中选择 Displacement Translational，单击 Apply，变形图如图 11-24 所示。

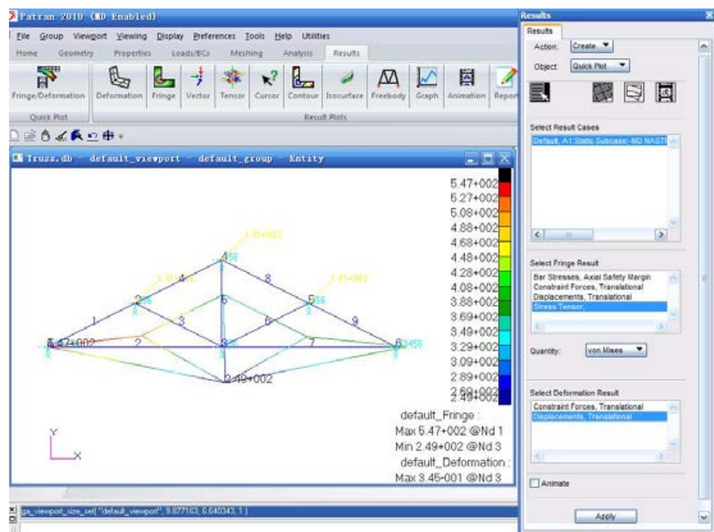


图 11-24　应力云图和变形图

11.4　厚壁圆筒静力分析

高压管道内径 152mm，壁厚 70mm，内部受压 150MPa，材料的弹性模量为 2.06GPa，泊松比 0.3。为简化分析，取 100mm 长的管道，并取横截面的 1/4 进行分析，简化方法如图 11-25 所示，对被分析模型的各截面法向进行约束。问题求解过程如下。

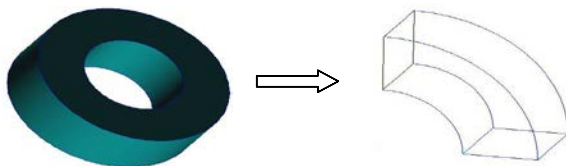


图 11-25　厚壁圆筒的简化

11.4.1 建立一个数据文件

选择菜单 File>New 命令，输入文件名 Cylinder，单击 OK 创建数据文件 Cylinder.db。选择分析代码为 Nastran，选择分析类型为 Structure，如图 11-26 所示。

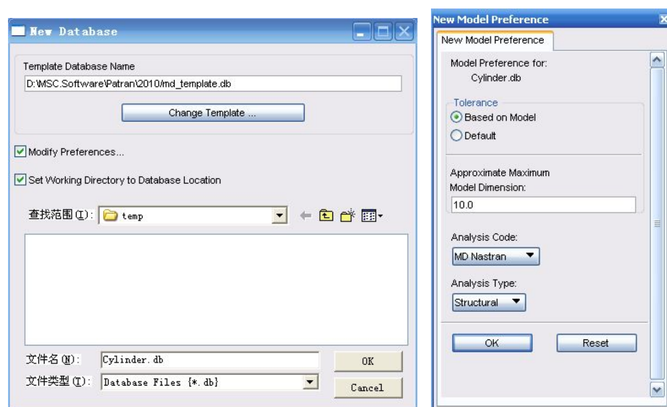


图 11-26　创建数据文件

11.4.2 创建厚壁圆筒的一个纵截面

单击 XYZ（Action>Create，Object>Surface，Method>XYZ），以[76，0，0]为原点创建一个<70，100，0>的平面，如图 11-27 所示。

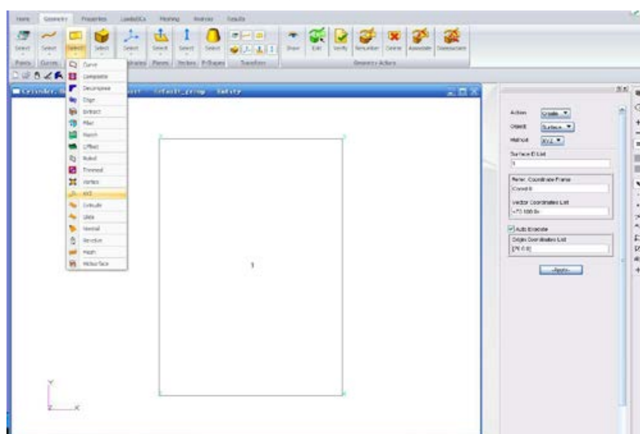


图 11-27　创建厚壁圆筒的一个纵截面

11.4.3 旋转截面生成三维实体

根据对称性，取 1/4 进行分析。单击 Revolve （Action>Create，Object>Solid，

Method>Revolve），Solid Type 选择 IsoMeshable，旋转轴选择 y 轴，选择 Surface 1，单击 Apply，把截面旋转 90º，如图 11-28 所示。

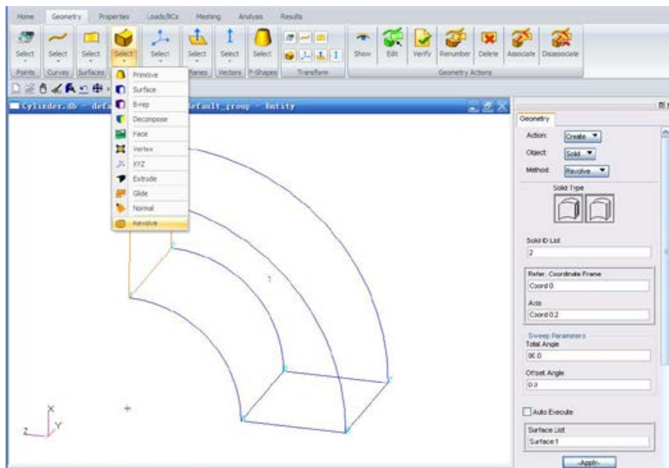


图 11-28　旋转截面生成三维实体

11.4.4 删除临时创建的截面

单击 （Action>Delete，Object>Surface），选择创建的截面 Surface 1，单击 Apply，如图 11-29 所示。

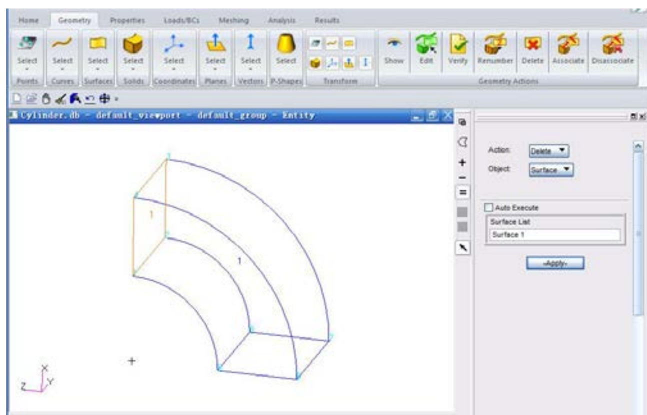


图 11-29　删除临时创建的截面

11.4.5 划分网格

单击 （Action>Create，Object>Mesh，Type> Solid），单元类型选择 Hex，拓扑结构为 Hex8，Value 设为 20，单击 Apply，如图 11-30 所示。

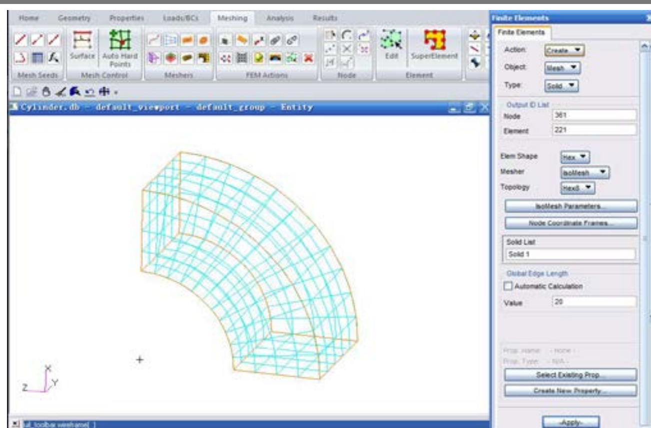


图 11-30　划分网格

11.4.6 定义材料属性

单击 ***Materials*** 应用工具按钮，选择 Isotropic （Action>Create，Object>Isotropic，Method>Manual Input），Material Name:steel，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，如图 11-31 所示，Constitutive Model 选择 Linear Elastic，在 Elastic Modulus 中输入 2.06e5，在 Poisson Ratio 中输入 0.3，单击 OK、Apply，完成材料的创建。

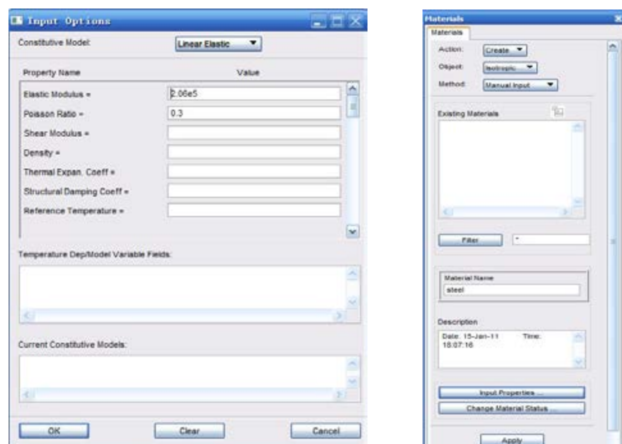


图 11-31　定义材料模型

11.4.7 定义单元属性

在 Properties 中单击（Action>Create，Object>3D，Type>Solid），在 Property Set Name 中输入 p1，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 steel，单击 OK；单击 Select Application Region，在屏幕上拾取 Solid 1，单击 Add、Apply，完成单元

属性的定义，如图 11-32 所示。

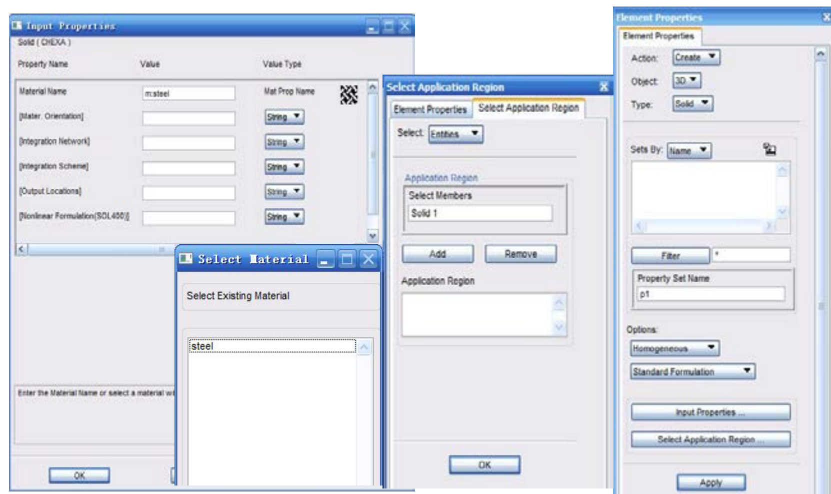


图 11-32　定义单元属性

11.4.8 施加边界条件，对各截面的法向位移进行约束

（1）单击 *Loads/BCs* 应用工具按钮，单击（Action>Create，Object>Displacement，Type>Nodal），在 New Set Name 选项中输入 dx，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>输入框中输入<0,，>，单击 OK。单击 Select Application Region，单击选取选项中的 Surface or Face，选中 Solid 1.6，对法向为 x 向的截面进行 x 向约束，如图 11-33 所示，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

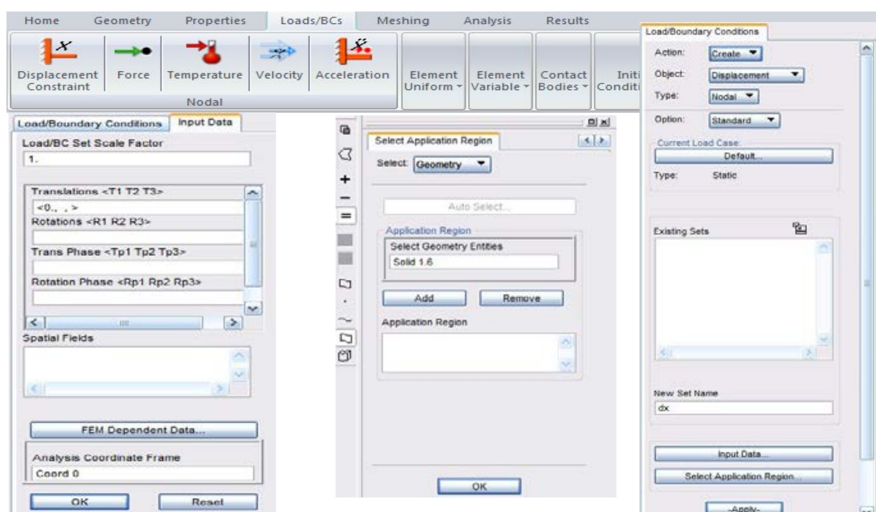


图 11-33　施加边界条件

（2）在 New Set Name 选项中输入 dy，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>输入框中输入<，0，>，单击 OK。单击 Select Application Region，选中 Solid 1.1，对法向

为 y 向的截面进行 y 向约束，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

（3）在 New Set Name 选项中输入 dz，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3> 输入框中输入<,，0>，单击 OK。单击 Select Application Region，选中 Solid 1.5，对法向为 z 向的截面进行 z 向约束，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

11.4.9 施加压强

在 Loads/BCs 中选择 Action>Create，Object>Pressure，Type>Element Uniform，在 New Set Name 选项中输入 p，单击 Input data 按钮，在 Pressure 中输入 150，单击 OK。单击 Select Application Region，选中 Solid 1.3，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。如图 11-34 所示。

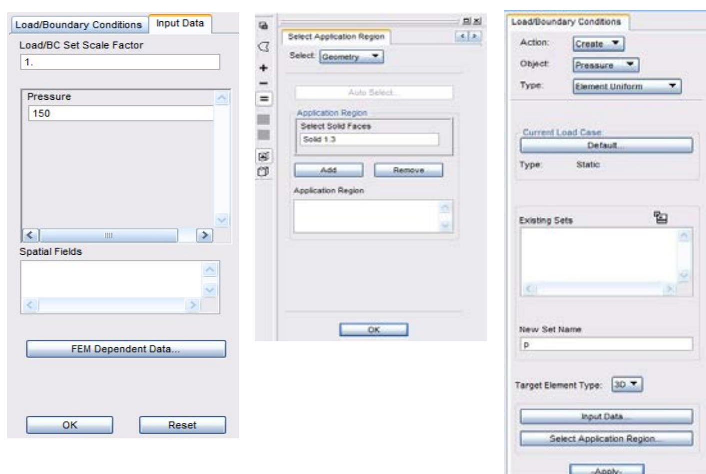


图 11-34 施加压强

完成边界条件定义的厚壁圆筒如图 11-35 所示。

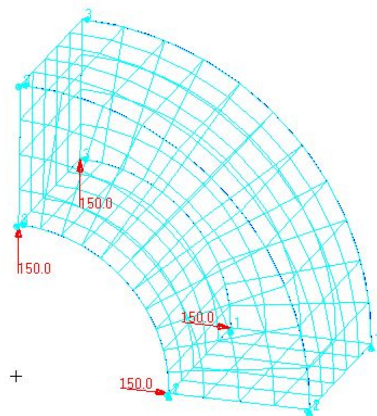


图 11-35 厚壁圆筒的边界条件

11.4.10 分析模型

分析模型时，各参数采用软件预设，Action>Analyze，Object>Entire Model，Method>Full Run，打开 Solution Type 按钮，选择求解类型为 LINEAR STATIC，点击 Apply 运行 Nastran 计算。

11.4.11 查看分析结果

（1）读入结果文件：单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，在 Access Results 中选择 XDB 按钮（Action>Access Results，Object>Attach XDB，Method>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 Cylinder.xdb，单击 OK、Apply。

（2）绘制应力云图和变形图：单击 ***Results*** 应用工具按钮，在 Quick plot 中单击（Action>Create，Object>Quick plot），在 Select Fringe Result 选项中选择 Stress Tensor，在 Select Deformation Result 选项中选择 Displacement Translational，单击 Apply，变形图如图 11-36 所示。

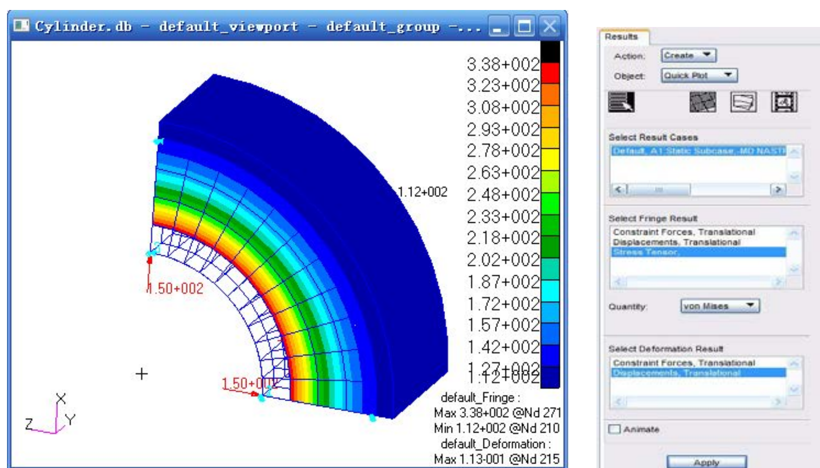


图 11-36　计算结果的应力云图和变形图

11.5 箱体的静力分析实例

本例用于练习基于中面壳单元的结构有限元分析。箱体的几何中面采用抽壳的方法完成，通过组定义，用于中面壳体的显示和操作。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\midsurface.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\midsurface.bdf。

11.5.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击命令栏 File/New，输入数据库文件名 midsurface.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Based on Model，Analysis Code=MSC.Nastran，Analysis Type=Structure，在 Appromimate Maximum Model Dimension 文本框中输入 11.0，点击 OK 按钮退出页面。

（3）点击命令栏 File/Import，选择 j_box.xmt 文件，点击 OK 按钮，在菜单栏中点击 Iso 3 View 图标 ，得到如图 11-37 所示的箱体几何模型。

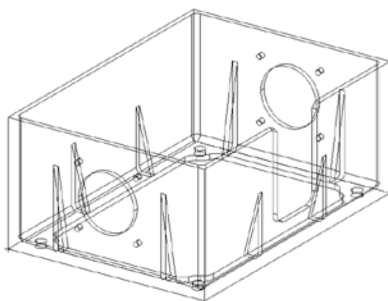


图 11-37　箱体几何模型

11.5.2 创建新组

（1）点击命令栏 Group/Create…，打开如图 11-38 所示的 Group 页面，设置 Action=Create。

（2）如图 11-38 所示，在 New Group Name 文本框中输入 midsurface，确认 Make Current 处于选择状态。点击 Apply 按钮生成新组，并点击 Cancel 按钮退出组页面。

11.5.3 抽取中面

（1）点击菜单栏上的 Geometry 按钮，打开如图 11-38 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Surface，Method=Midsurface。

（2）如图 11-39 所示，在页面中部的 Max. Thickness 文本框中输入数值 20，在 Solid List 文本框中选择图形区中的实体，生成如图 11-40 所示的含中面模型。

（3）点击菜单栏上的 Group 的 Post…，在如图 11-41 所示的 Post 页面中的 Select Groups to Post 列表中选择 midsurface 组，点击 Apply 按钮，得到如图 11-42 所示的中面模型，点击 Cance 按钮退出 Group 页面。

11.5.4 几何清理

（1）在如图 11-43 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Surface，Method=Trim。

（2）在如图 11-43 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Surface，Method=Trim。

（3）如图 11-43 所示，确认 Delete Sliver Surface 和 Auto Execute 均处于选择状态。在 Surface to Trim 和 Trimming Edge 中，分别选择如图 11-44 所示的面和边，从而得到如图 11-45

所示的中面。



图 11-38　Group 页面

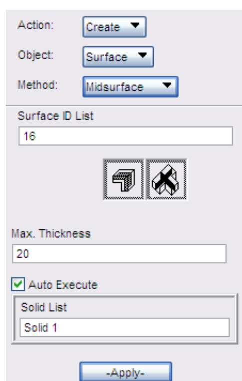


图 11-39　Geometry 页面

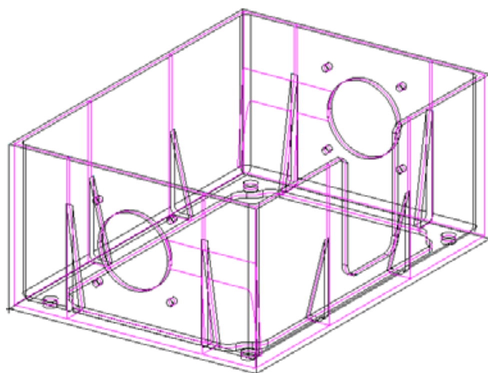


图 11-40　含中面的相同模型

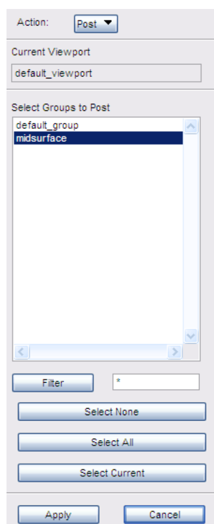


图 11-41　Group 页面

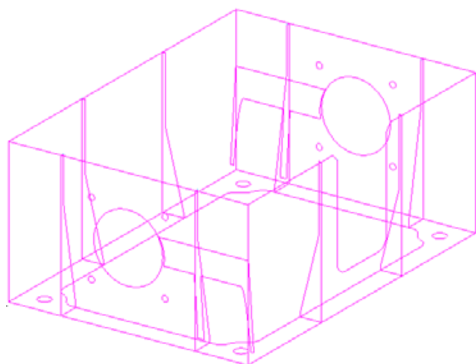


图 11-42　中面模型

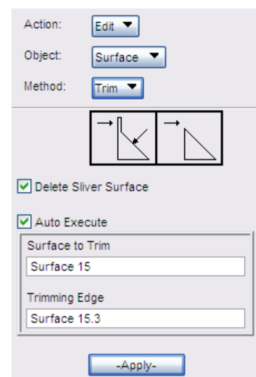


图 11-43　Geometry 页面

（4）采用相同的方法，以处理箱体中其余的边和面，得到如图 11-46 所示的中面模型。

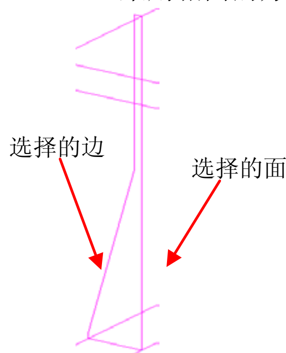


图 11-44　局部几何模型

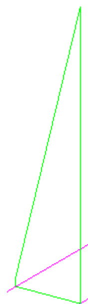


图 11-45　中面

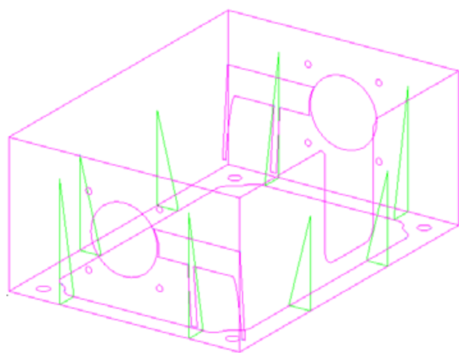


图 11-46　中面几何模型

（5）在如图 11-47 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Associate，Object=Curve，Method=Surface。

（6）如图 11-47 所示，在 Curve List 和 Surface List 文本框中依次选择边和面。得到如图 11-48 所示的图形。

（7）采用相同的方法，实现相关边和面的关联，最后得到如图 11-49 所示的中面模型。

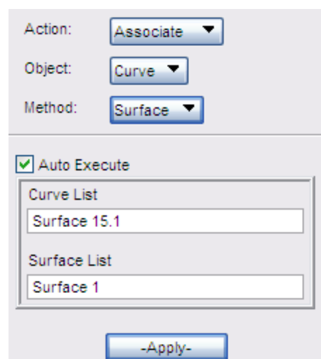


图 11-47 Geometry 页面

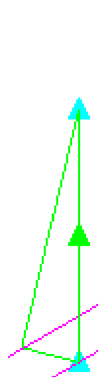


图 11-48 局部几何模型

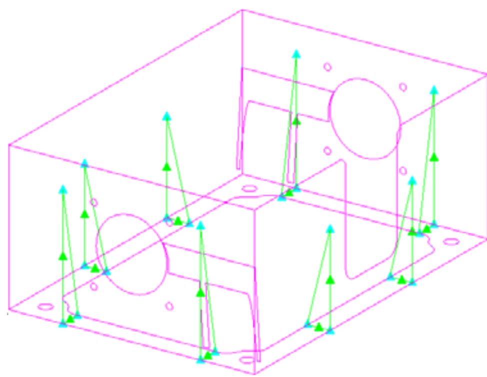


图 11-49 关联后的中面模型

11.5.5 删除多余的面

（1）在如图 11-50 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Delete，Object=Surface，确认 Auto Execute 均处于未选择状态。

（2）如图 11-50 所示，在 Surface List 文本框中，选择模型中多余的面，点击 Apply 按钮，从而得到如图 11-51 所示的中面模型。

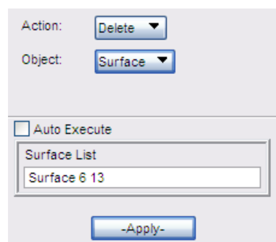


图 11-50 Geometry 页面

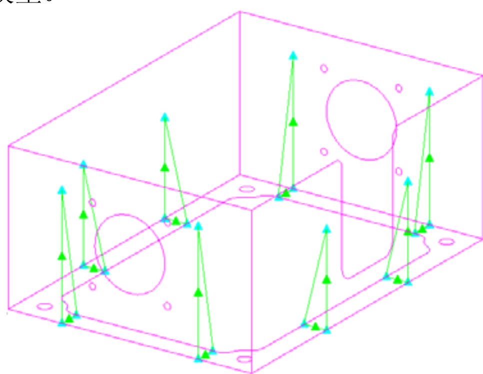


图 11-51 中面模型

11.5.6 自由网格划分

（1）点击菜单栏上的 Meshing 按钮，打开如图 11-52 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Surface。

（2）如图 11-52 所示，在页面中部的 Surface List 文本框中选择全部图形区内的面。取消单元全局尺寸的 Automatic Calculation，在 Value 文本框中输入数值 5，点击 Apply 按钮，生成如图 11-53 所示的网格模型。

（3）如图 11-54 所示，重新设置 Action=Equivalence，Object=All，点击 Apply 按钮实现重节点合并，得到如图 11-55 所示的图形。

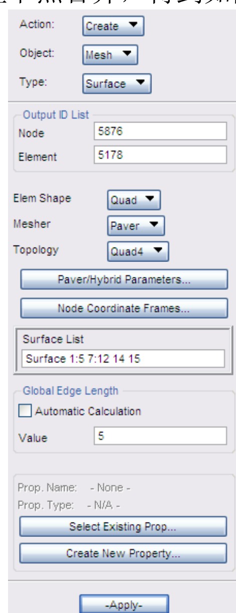


图 11-52　Finite Elements 页面

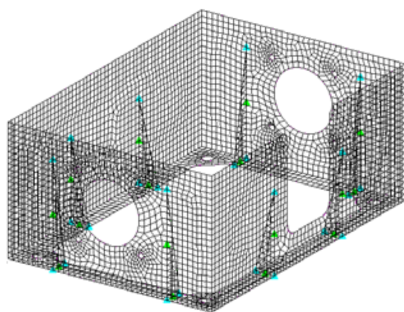


图 11-53　网格模型

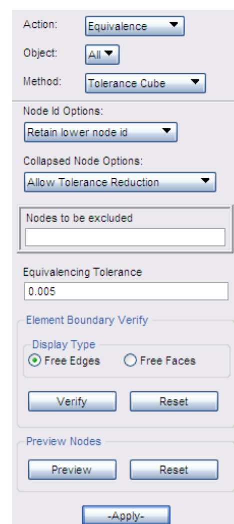


图 11-54　Finite Elements 页面

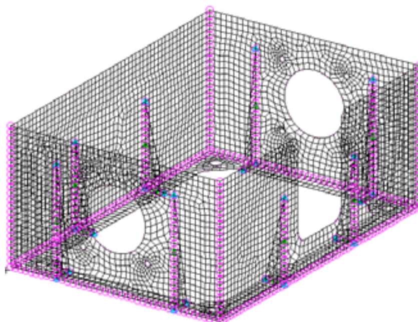


图 11-55　合并重节点后的网格模型

11.5.7 定义载荷边界条件

（1）点击菜单栏上的 Load/BCs 按钮，打开如图 11-56 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，依次设置 Action=Create，Object=CID Distributed Load，Type=Element Uniform。

（2）如图 11-56 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中 CID_Distributed_Load，设置 Target Element Type=2D。

（3）如图 11-56 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 11-57 所示的 Input Data 页面，在 Surf Distr Force<F1 F2 F3>文本框中输入<0 100 0>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-56 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-58 所示的 Select Application Region 页面，在 Select Surfaces or Edges 中，选择如图 11-59 所示的圆孔边界，点击 Add 按钮，添加至中 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

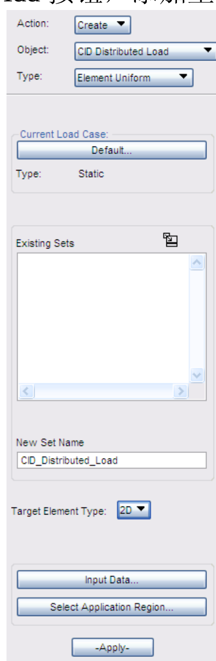


图 11-56　Load/Boundary Conditions 页面

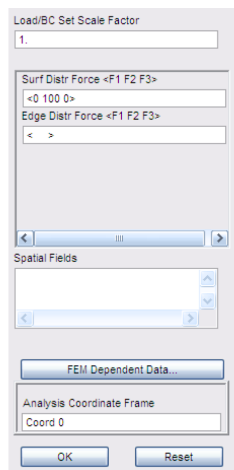


图 11-57　Input Data 页面

（5）如图 11-56 所示，点击 Apply 按钮生成定义的载荷边界条件。

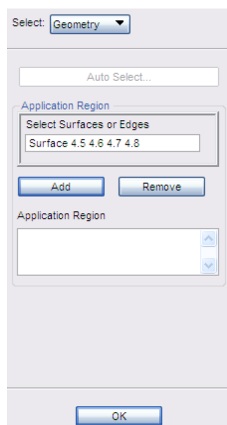


图 11-58　Select Application Region 页面

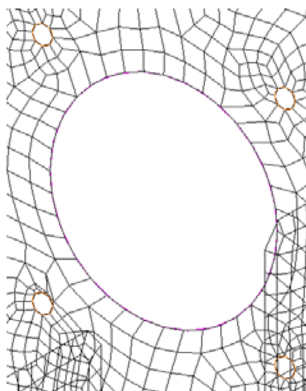


图 11-59　局部网格模型

11.5.8 定义位移边界条件

（1）在如图 11-60 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Type=Nodal。

（2）如图 11-60 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中输入 Fixed。

（3）如图 11-60 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 11-61 所示的 Input Data 页面，在 Translation<T1 T2 T3>和 Rotations<R1 R2 R3>文本框中分别输入<0 0 0>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-60 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-62 所示的 Select Application Region 页面，选择底面的圆弧线，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 11-60 所示，点击 Apply 按钮以生成位移边界条件，得到如图 11-63 所示的有限元模型。

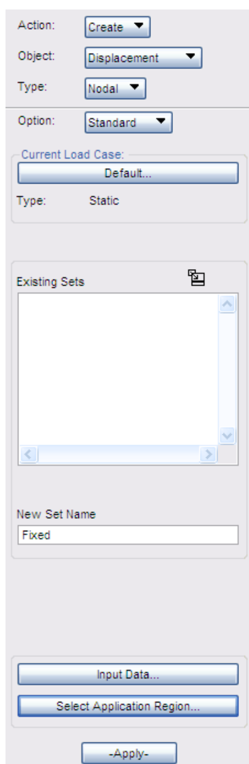


图 11-60　Load/Boundary Conditions 页面

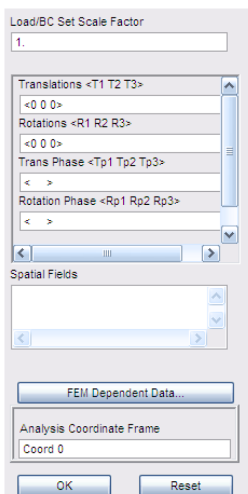


图 11-61　Input Data 页面

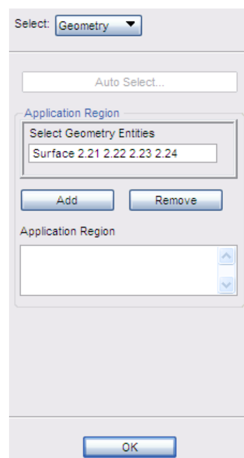


图 11-62　Select Application Region 页面

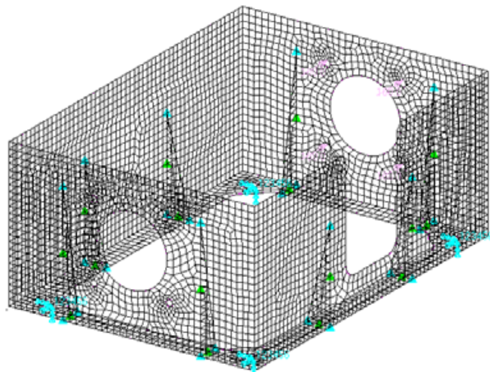


图 11-63　有限元模型

11.5.9 定义材料本构关系

（1）点击工具栏 Properties 下的 Isotropic 按钮，打开如图 11-64 所示的 Materials 页面，依次设置 Action=Create，Object=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 11-64 所示，在 Material Name 文本框中输入 Aluminum。

（3）如图 11-64 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 11-65 所示的 Input Options 页面。在 Constitutive Model 列表框中选择 Linear Elastic。在 Elastic Modulus 文本框中输入数值 10e6，在 Possion Ratio 文本框中输入数值 0.3，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-64 所示，点击 Apply 按钮完成材料定义。

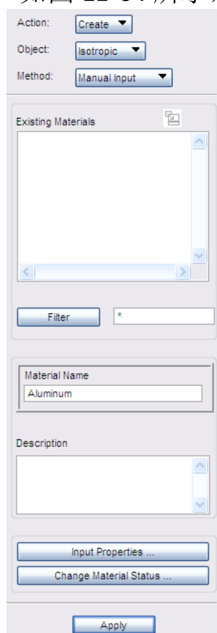


图 11-64　Materials 页面

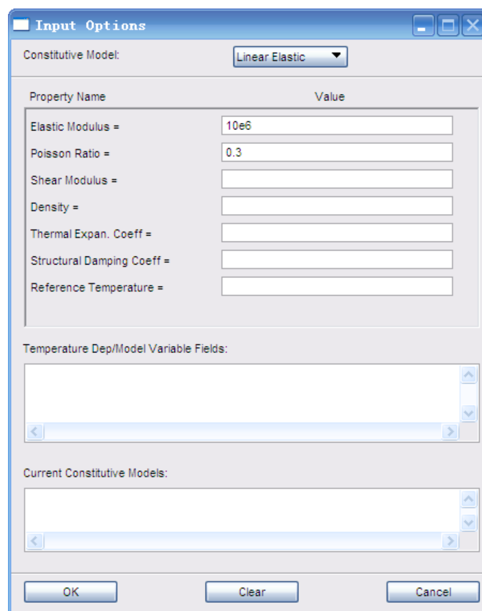


图 11-65　Input Options 页面

11.5.10 定义单元属性

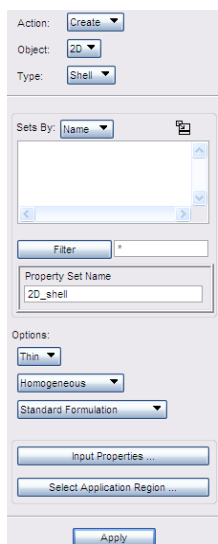
（1）点击工具栏 Properties 下的 Solid 按钮，打开如图 11-66 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=2D，Type=Shell。

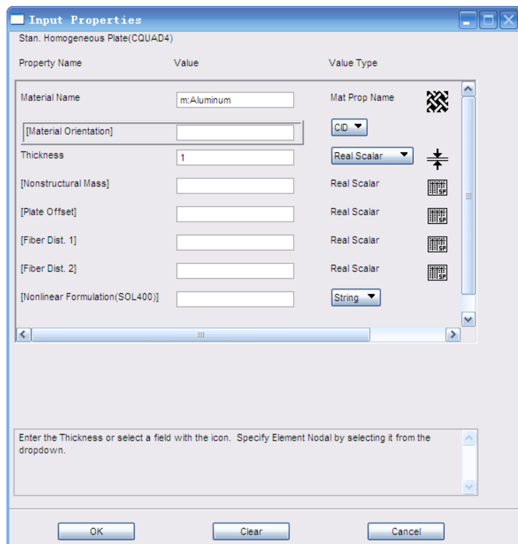
（2）如图 11-66 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 2D_shell。

（3）如图 11-66 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 11-67 所示的 Input Properties 页面。点击 Material Name 右侧的按钮，打开 Select Material 窗口，点击列表中的 Aluminum，在 Thickness 文本框中输入数值 1，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-66 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 11-68 所示的 Select Application Region 页面。点击 Select Members 输入框，在 Picking Filters 工具栏中点击 Surface 按钮，在图形区域内选择全部中面表面，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 11-66 所示，点击 Apply 按钮生成壳单元属性。





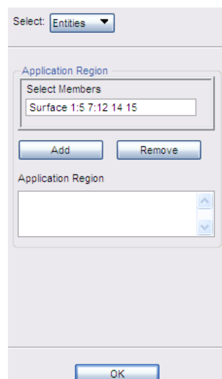


图 11-66　Element Properties 页面　　图 11-67　Input Properties 页面　　图 11-68　Select Application Region 页面

11.5.11 提交分析作业

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 11-69 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Objective=Entire Model，Method=Full Run。

（2）点击 Apply 按钮，在 Patran 默认目录下生成 bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

11.5.12 结果后处理

（1）计算完毕后，如图 11-70 所示，重新依次设置 Action=Access Results，Object= Attach XDB，Method=Result Entities。点击 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

（2）点击工具栏中的 Results 按钮，打开如图 11-71 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick Piot。

（3）如图 11-71 所示，在 Select Fringe Result 列表中选择 Stress Tensor，在 Select Deformation Result 列表中选择 Displacements, Translational，点击 Apply 按钮，得到如图 11-72 所示的箱体应力分布云图。

（4）为了使图形区更加简洁，如图 11-73 设置，勾选取消相关选项，得到如图 11-74 所示的箱体应力分布云图。

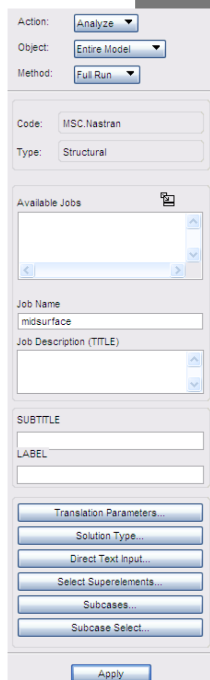


图 11-69　Analysis 页面

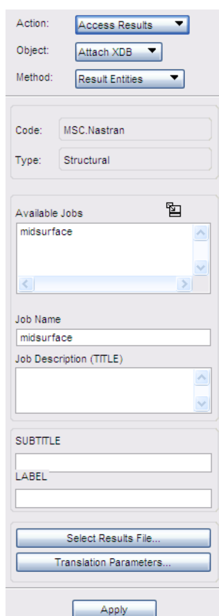


图 11-70　Analysis 页面

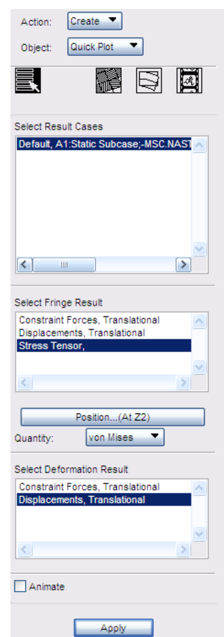


图 11-71　Results 页面

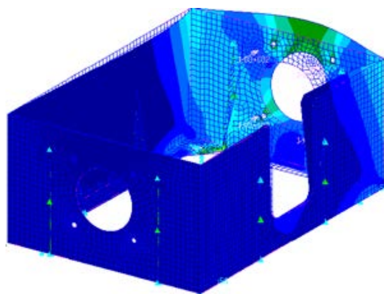


图 11-72　箱体应力分布云图

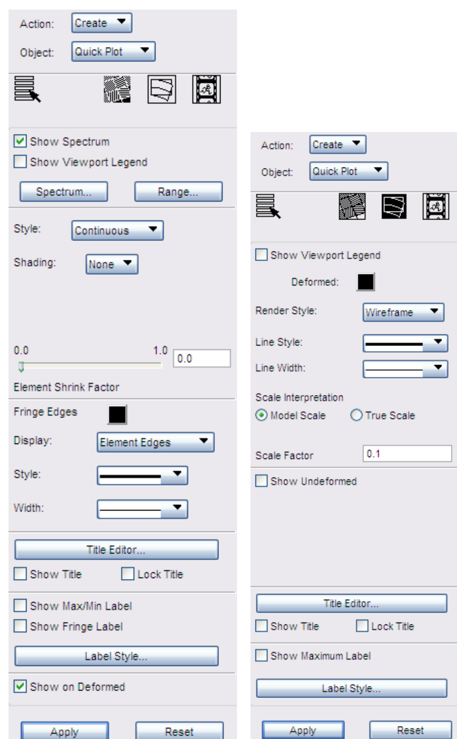


图 11-73　Results 页面

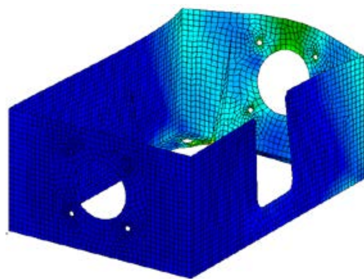


图 11-74　箱体应力分布云图

11.6　面与加强筋模型

该练习用面围成结构，在面上添加孔，用在面上加顶点和做硬线的方法保证面之间和面与梁之间的协调。用二维单元的边上创建梁单元，设置梁单元的属性。对不同的单元赋予材料属性，熟悉 group 功能。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\shell_beam.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\shell_beam.bdf。

11.6.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击命令栏 File/New，输入数据库文件名 shell_beam.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code= Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

11.6.2 创建几何模型

（1）点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 11-75 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Surface，Type=XYZ。

（2）如图 11-75 所示，在页面中部的 Vector Coordinates List 文本框中输入<1 1 0>。

（3）如图 11-75 所示，在 Origin Coordinates List 文本框中输入[0 0 0]，点击 Apply 按钮，得到平面矩形。

（4）采用类似的方法，生成第二个矩形，其中 Vector Coordinates List 文本框中输入<0 1 1>。

（5）在如图 11-76 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Transform，Object=Surface，Method=Translate。

（6）如图 11-76 所示，在 Translator Vector 文本框中输入<0 0 1>，在 Surface List 文本框中选择底面，点击 Apply 按钮生成顶面。

（7）采用相同的方法，生成右侧面，其中在 Translator Vector 文本框中输入<1 0 0>，得到如图 11-77 所示的几何模型。

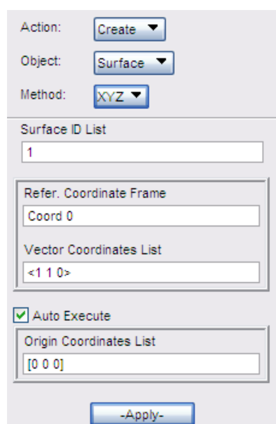


图 11-75　Geometry 页面

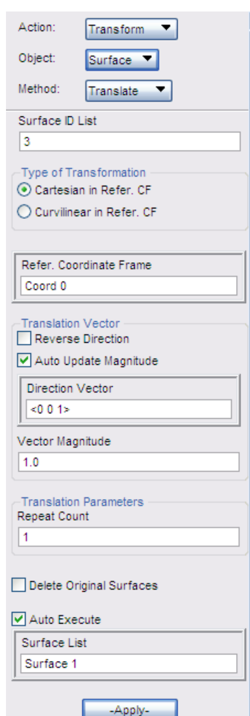


图 11-76　Geometry 页面

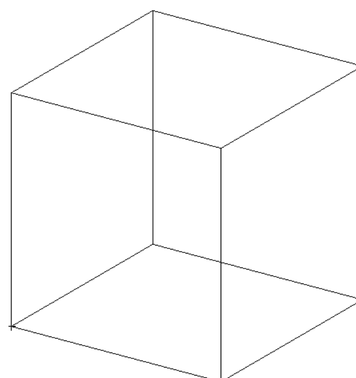


图 11-77　几何模型

（8）在如图 11-78 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Transform，Object=Surface，Method=Scale。

（9）如图 11-78 所示，在 Scale Factor 文本框中输入 0.5 0.5 1。在 Surface List 文本框中选择顶面，点击 Apply 按钮生成小比例的顶面。

（10）在如图 11-79 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Transform，Object=Surface，Method=Translate。

（11）如图 11-79 所示，在 Translator Vector 文本框中输入<1 0 0 >。在 Surface List 文本框中选择小面，点击 Apply 按钮生成右顶小面。

（12）如图 11-80 所示，采用相同的方法，生成左顶小面，其中 Direction Vector 文本框中输入<-0.5 0.25 0>，并选中 Delete Original Surfaces 选项，得到如图 11-81 所示的几何模型。

（13）如图 11-82 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Point，Method=Extract。

（14）如图 11-82 所示，在 Surface List 文本框中选择底面，自动生成几何点。

（15）点击图标，在图形区内显示点。

（16）在中心点建立的基础上，可在顶面和底面增加开孔。如图 11-83 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Surface，Method=Add Hole。

（17）如图 11-83 所示，在 Hole Radius 文本框中输入数值 0.2。在 Surface 文本框中选择底面，在 Center Point List 文本框中选择底面中点，点击 Apply 按钮生成圆圈。

（18）采用相同的方法，在顶面生成中心点。

（19）在如图 11-84 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Transform，Object=Curve，Method=Scale。

（20）如图 11-84 所示，在 Origin of Scaling 文本框中选择顶部中点，在 Scale Factor

文本框中输入 0.5 0.3 0，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Curve List 文本框中选择顶部面的四边，点击 Apply 按钮生成如图 11-85 所示的几何模型。

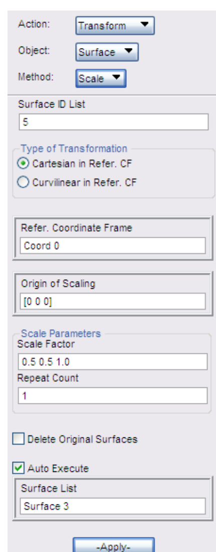


图 11-78　Geometry 页面

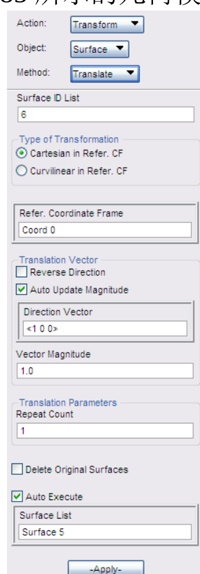


图 11-79　Geometry 页面

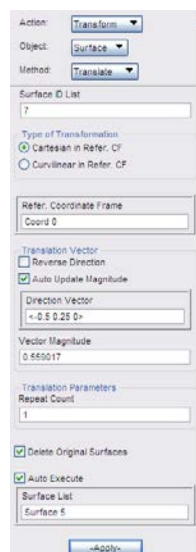


图 11-80　Geometry 页面

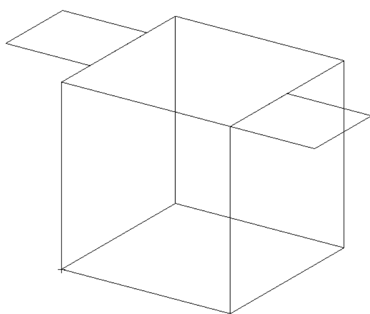


图 11-81　几何模型图

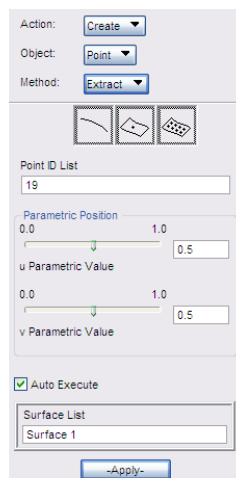


图 11-82　Geometry 页面

（21）在如图 11-86 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Surface，Method=Add Hole，Option=Inner Loop。

（22）如图 11-86 所示，在 Surface 文本框中选择顶面，在 Inner Loop List 文本框中选择方孔边界，点击 Apply 按钮生成矩形孔。

（23）在如图 11-87 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Surface，Method=Extrude。

（24）如图 11-87 所示，在 Translation Vector 文本框中输入<0 0 -1>，在 Curve List 文本框中选择底部圆孔，自动生成如图 11-88 所示的几何面。

（25）在如图 11-89 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Curve，Method=Extract。

（26）如图 11-89 所示，在页面中部设置 Option=Parametric，Curve Direction=u Direction，

在 Surface List 文本框中选择顶部左边小面，自动分割面。

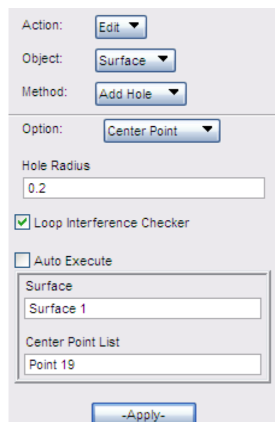


图 11-83　Geometry 页面

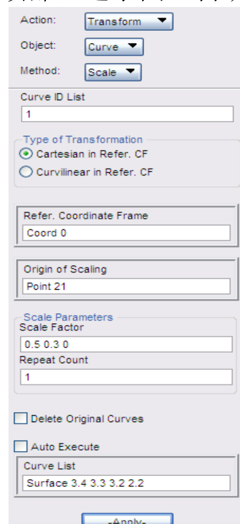


图 11-84　Geometry 页面

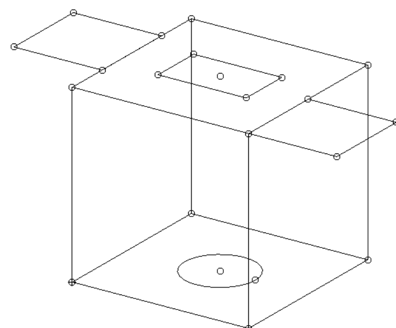


图 11-85　几何模型

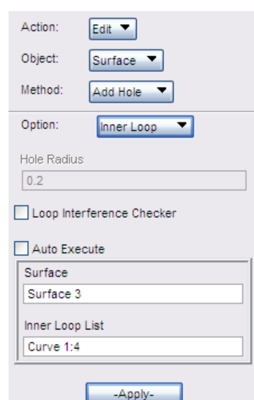


图 11-86　Geometry 页面

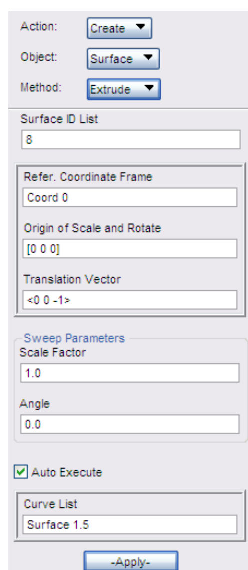


图 11-87　Geometry 页面

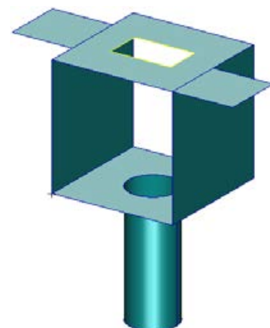


图 11-88　几何模型

（27）在相同的页面，重新设置 Curve Direction=v Direction，点击 Apply 再次切割几何面。

（28）在如图 11-90 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Associate，Object=Curve，Method=Surface。

（29）如图 11-90 所示，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Curve List 文本框中选择顶部小面的分割线，在 Surface List 文本框中选择小面，点击 Apply 按钮得到如图 11-91 所示的几何模型。

（30）为保证顶面和侧面与左右翼之间的协调，需要在顶面和侧面上添加顶点。在如图 11-92 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Surface，Method=Add Vertex。

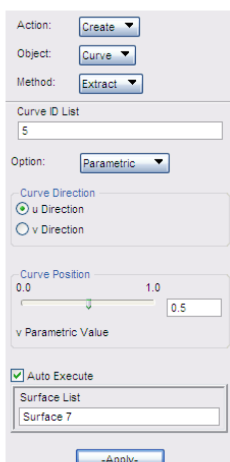


图 11-89　Geometry 页面

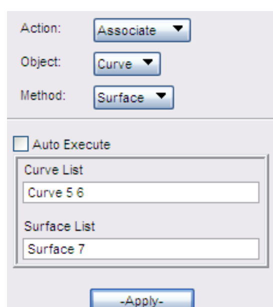


图 11-90　Geometry 页面

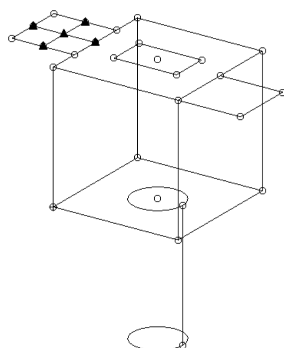


图 11-91　几何模型

（31）如图 11-92 所示，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Surface 文本框中选择顶面，在 Point List 文本框中顶面左右翼的三个点，点击 Apply 按钮。

（32）如图 11-93 所示，采用相同的方法，选择顶部左侧面，选择侧面顶点，点击 Apply 按钮。

（33）如图 11-94 所示，采用相同的方法，选择顶部右侧面，选择侧面顶点，点击 Apply 按钮。

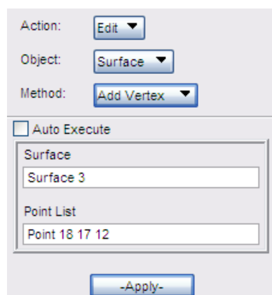


图 11-92　Geometry 页面

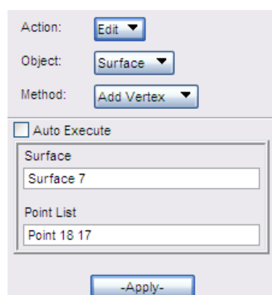


图 11-93　Geometry 页面

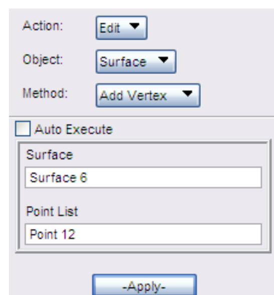


图 11-94　Geometry 页面

11.6.3 网格划分

（1）点击工具栏上的 Meshing 按钮，打开如图 11-95 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Surface。并在页面中部依次设置 Elem Shape=Quad，Mesher=Paver，Topology=Quad4。



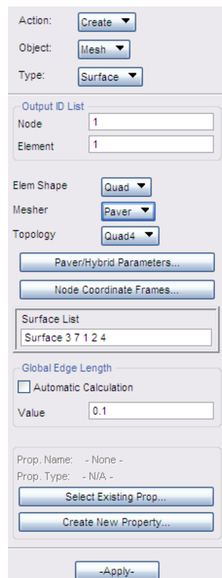
技巧提示

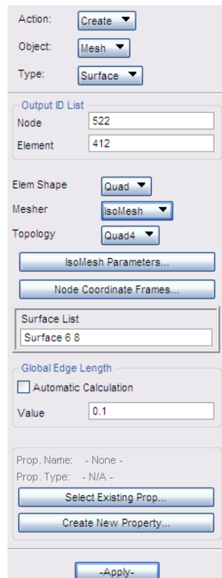
复杂曲面和有硬线的面不用用 IsoMesh。

（2）如图 11-95 所示，在 Surface List 文本框中选择底面、顶面、侧面和左翼面，勾选取消 Automatic Calculation 选项，设置 Value=0.1。点击 Apply 按钮完成面网格划分。

（3）如图 11-96 所示，采用相同的方法，对圆柱面和右翼面进行网格划分，其中

Mesher=IsoMesh，最终得到如图 11-97 所示的网格模型。





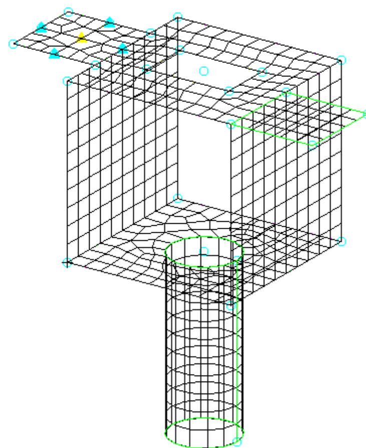


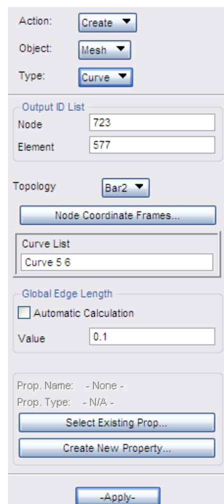
图 11-95　Finite Elements 页面　　图 11-96　Finite Elements 页面　　图 11-97　网格模型

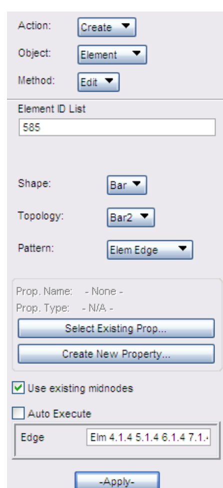
（4）在如图 11-98 所示的 Finite Elements 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Curve。

（5）如图 11-98 所示，在 Curve List 文本框中选择左翼面上的两条中线，勾选取消 Automatic Calculation 选项，设置 Value=0.1。点击 Apply 按钮完成左翼面加强筋的创建。提示：在信息栏中提示生成 8 个单元。

（6）在如图 11-99 所示的 Finite Elements 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Element，Type=Edit，在页面中部设置 Shape=Bar，Topology=Bar2，Pattern=Elem Edge。

（7）如图 11-99 所示，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Edge 文本框中选择顶面方孔四周的单元，单击 Apply 按钮生成单元。





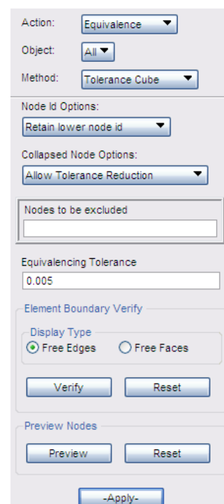


图 11-98　Finite Elements 页面　　图 11-99　Finite Elements 页面　　图 11-100　Finite Elements 页面

（8）在如图 11-100 所示的 Finite Elements 页面中，重新依次设置 Action=Equivalence，

Object=All，Type=Tolerance Cube。



技巧提示

选择时可以逐个单元选取，直至仅内孔边线显亮。

（9）如图 11-100 所示，点击 Apply 按钮完成重节点合并。

11.6.4 定义载荷边界条件

（1）点击菜单栏上的 Load/BCs 按钮，打开如图 11-101 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，依次设置 Action=Create，Object=Force，Type=Nodal。

（2）如图 11-101 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中输入名字 force。

（3）如图 11-101 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 11-102 所示的 Input Data 页面，在 Force<F1 F2 F3>文本框中输入<0 0 -2000>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-101 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-103 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中选择左翼面中间节点，点击 Add 按钮，添加至中 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。



图 11-101　Load/Boundary Conditions 页面

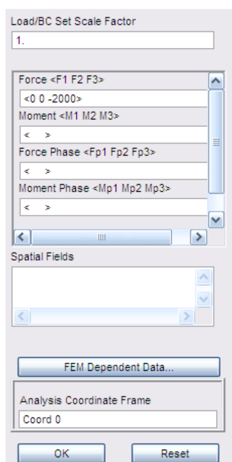


图 11-102　Input Data 页面

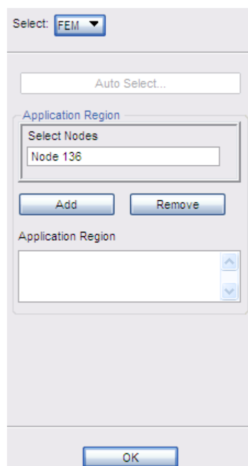


图 11-103　Select Application Region

（5）如图 11-101 所示，点击 Apply 按钮生成定义的集中载荷边界条件。

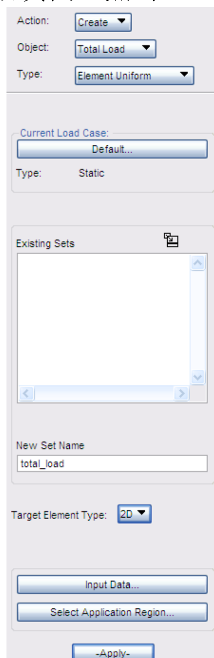
（6）在如图 11-104 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Total Load，Type=Element Uniform。

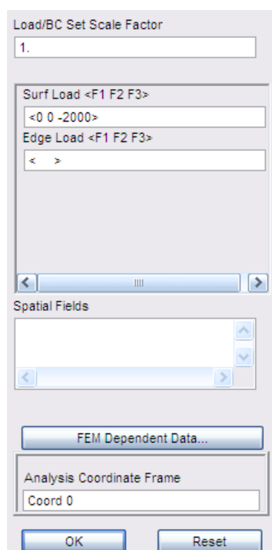
（7）如图 11-104 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中输入名字 total_load，设置 Target Element Type=2D。

（8）如图 11-104 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 11-105 所示的 Input Data 页面，在 Surf Force<F1 F2 F3>文本框中输入<0 0 -2000>，点击 OK 按钮退出页面。

（9）如图 11-104 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-106 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=Geometry，在 Select Surface or Edges 文本框

中选择右翼面，点击 Add 按钮，添加至中 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。





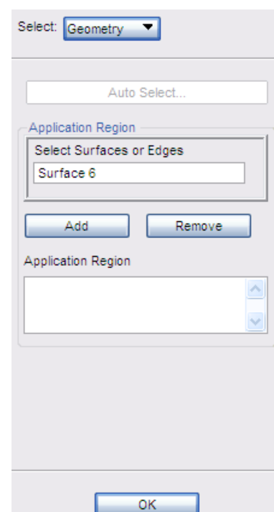


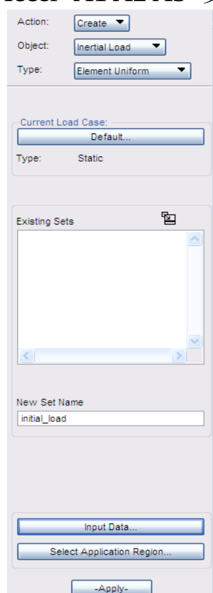
图 11-104　Load/Boundary Conditions　　图 11-105　Input Data　　图 11-106　Select Application Region

（10）如图 11-104 所示，点击 Apply 按钮生成定义的分布载荷边界条件。

（11）在如图 11-107 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Inertial Load，Type=Element Uniform。

（12）如图 11-107 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中输入名字 initial_load。

（13）如图 11-107 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 11-108 所示的 Input Data 页面，在 Trans Accel<A1 A2 A3>文本框中输入<0 0 -9.8>，点击 OK 按钮退出页面。



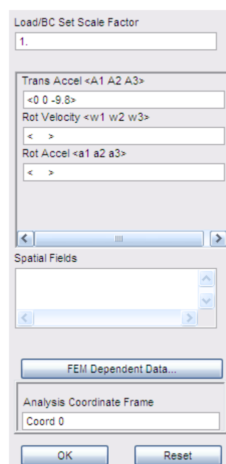


图 11-107　Load/Boundary Conditions 页面　　图 11-108　Input Data 页面

（14）如图 11-107 所示，点击 Apply 按钮生成惯性载荷边界条件。



技巧提示

惯性载荷施加到整个模型上，不需要选择应用范围。

11.6.5 定义位移边界条件

（1）在如图 11-109 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Type=Nodal。

（2）如图 11-109 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中输入名字 displacement。

（3）如图 11-109 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 11-110 所示的 Input Data 页面，在 Translation<T1 T2 T3>和 Rotations<R1 R2 R3>文本框中分别输入<0 0 0>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-109 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-111 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中选择圆柱底面全部的节点。点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 11-109 所示，点击 Apply 按钮以生成位移边界条件，得到如图 11-112 所示的有限元模型。

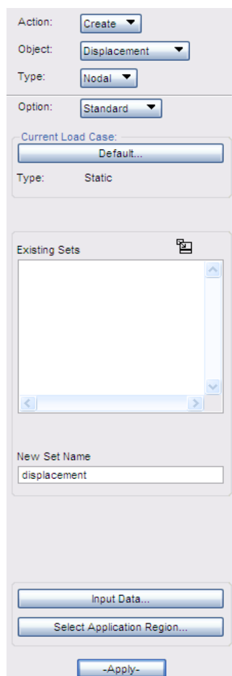


图 11-109　Load/Boundary Conditions 页面

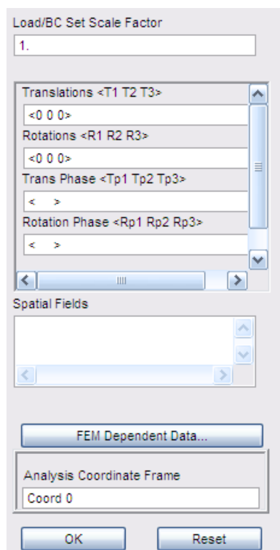


图 11-110　Input Data 页面

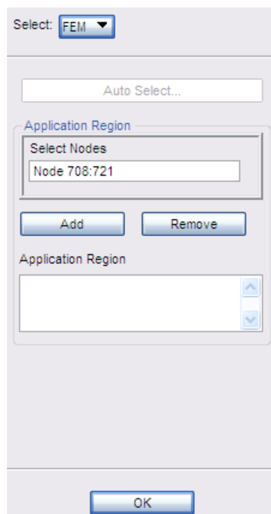


图 11-111　Select Application Region 页面

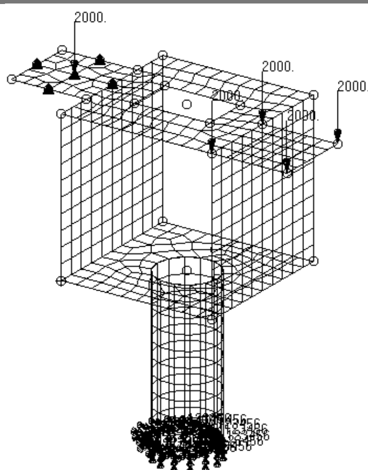


图 11-112　有限元模型

11.6.6 定义材料本构关系

（1）点击工具栏上 Properties 下的 Isotropic 按钮，打开如图 11-113 所示的 Materials 页面。依次设置 Action=Create，Object=Isotropic，Method=Manual Input。

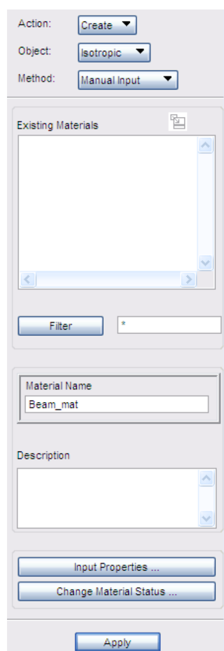


图 11-113　Materials 页面

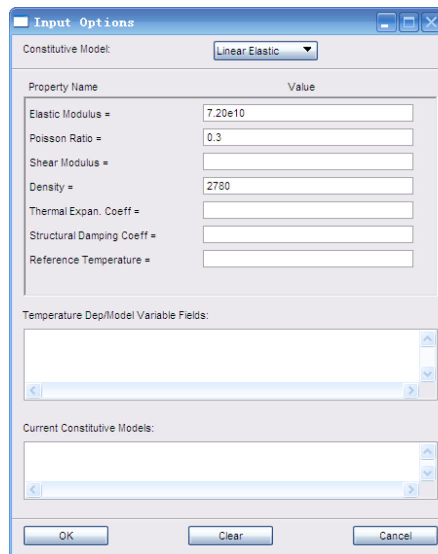


图 11-114　Input Options 页面

（2）如图 11-113 所示，在 Material Name 文本框中输入 Beam_mat。

（3）如图 11-113 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 11-114 所示的 Input Options 页面在 Constitutive Model 列表框中选择 Linear Elastic。在 Elastic Modulus 文本框

中输入数值 7.2e10，在 Possion Ratio 文本框中输入数值 0.3，在 Density 文本框中输入数值 2780，点击 OK 按钮退出页面。



技巧提示

由于模型中有惯性载荷，材料参数中的密度必须输入。

（4）如图 11-113 所示，点击 Apply 按钮完成材料定义。

（5）采用相同的方法，定义其他材料值，其名称和数值如表 11-2 所示。

表 11-2　材料定义

名称	弹性模量/Pa	泊松比	密度/(kg/m^3)
Beam_mat	7.20e10	0.3	2780
Plate1_mat	1.05e11	0.3	2460
Plate2_mat	2.32e10	0.3	2760
Plate3_mat	1.18e10	0.3	2600

11.6.7 定义单元属性

（1）点击菜单栏上的 Properties 按钮，打开如图 11-115 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=2D，Type=Shell。

（2）如图 11-115 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 Plate1。

（3）如图 11-115 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 11-116 所示的 Input Properties 页面，在 Material Name 文本框中选择 Plate1_mat，在 Thickness 文本框中输入厚度数值 0.005，点击 OK 按钮退出页面。

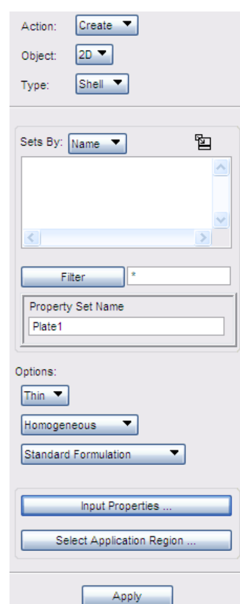


图 11-115　Element Properties 页面

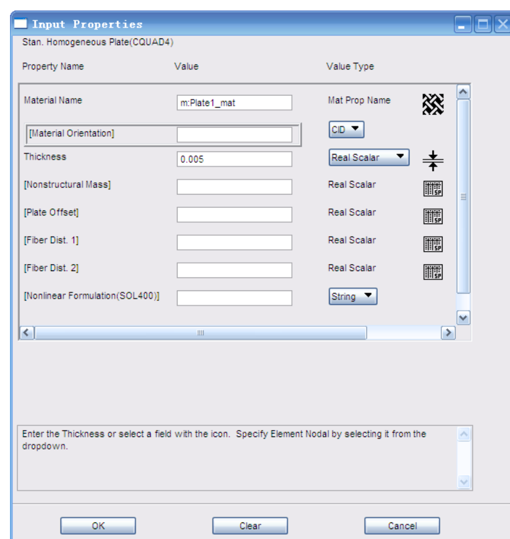


图 11-116　Input Properties 页面

（4）如图 11-115 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-117 所示的 Select Application Region 页面，在 Select Members 文本框中选择底面、顶面和左右翼面，

点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

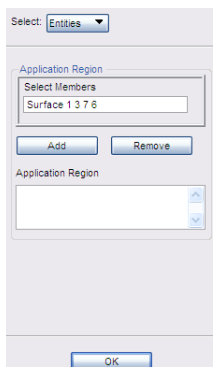


图 11-117　Select Application Region 页面

（5）如图 11-115 所示，点击 Apply 按钮完成单元属性定义。

（6）采用相同的方法，定义其他壳面的单元属性，其值对应如表 11-3 所示。

表 11-3 材料定义

属性名称	材料名称	厚度	位置
Plate1	Plate1_mat	0.005	底面、顶面和左右翼面
Plate2	Plate2_mat	0.008	左右侧面
Plate3	Plate3_mat	0.010	圆柱面

（7）在如图 11-118 所示的 Element Properties 页面，重新依次设置 Action=Create，Object=1D，Type=Beam。

（8）如图 11-118 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 beam1。

（9）如图 11-118 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 11-119 所示的 Input Properties 页面，在 Material Name 文本框中选择 Beam_mat，在 Bar Orientation 文本框中输入 Coord 0.3，在[Offset @ Node 1]和[Offset @ Node 2]文本框中输入<0 0 0.006>，点击 Create Sections 按钮，进入 Beam Library 页面。

（10）如图 11-120 所示，在 New Section Name 文本框中输入 Section1，选择实心矩形梁截面，在 W 和 H 文本框中分别输入数值 0.006 和 0.012，连续点击两次 OK 按钮退出页面。

（11）如图 11-118 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-121 所示的 Select Application Region 页面，在 Select Members 文本框中选择左翼面上的梁单元，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（12）如图 11-118 所示，点击 Apply 按钮生成梁单元属性。

（13）采用相同的方法，定义顶板矩形孔边上的加强筋属性，其中 Property Set Name 为 beam2，Material Namew 为 Beam_mat，在 Bar Orientation 文本框中输入 Coord 0.3，在[Offset @ Node 1]和[Offset @ Node 2]文本框中输入<0 0 0.004>。New Section Name 为 Section2，选择实心矩形梁截面，在 W 和 H 文本框中分别输入数值 0.004 和 0.008。

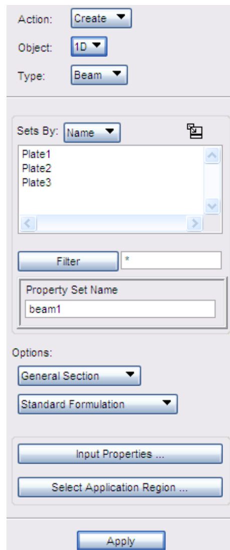
（14）点击菜单栏 Display 下的 Load/BC/Props…命令，在弹出的页面中设置 Beam Display=3D: FullSpan+Offsets，点击 Apply 按钮，得到如图 11-122 所示的有限元模型。

（15）点击菜单栏 Group 下的 Create…命令，在 Group 页面中，依次设置 Action=Create，Method=Property Set。

（16）在 Group Name 文本框中输入 plate1_p，在 Property Sets 列表中选择 Plate1，点击 Apply 按钮生成定义组。

（17）采用相同的方法，定义其他组，其中组名分别为 plate2_p，plate3_p，beam1_p，

beam2_p。



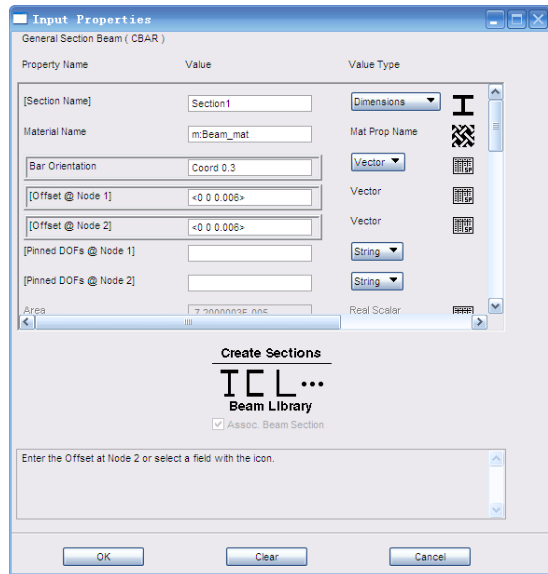
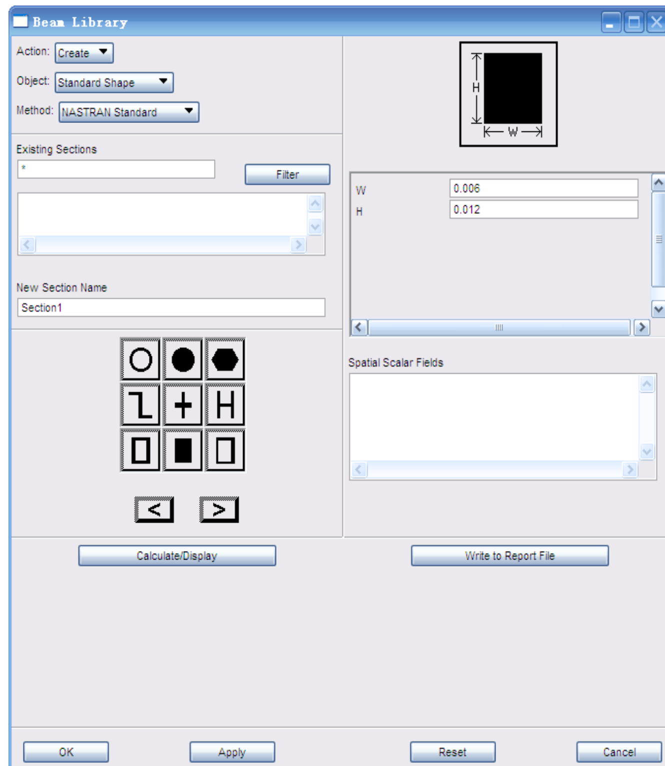


图 11-118 Element Properties 页面　　　　图 11-119 Input Propeties 页面



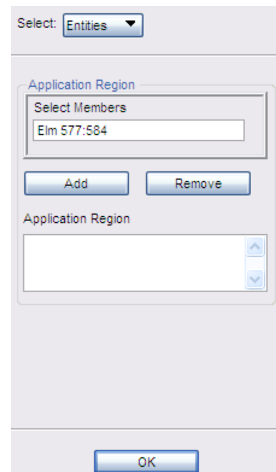


图 11-120 Beam Library 页面　　　　图 11-121 Select Application Region 页面

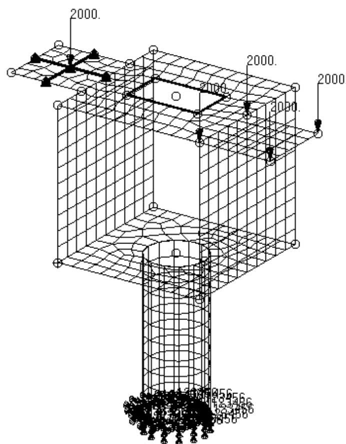


图 11-122　梁三维显示的有限元模型

11.6.8 提交分析作业

（1）点击工具栏 Analysis 按钮，打开 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）点击 Apply 按钮，在 Patran 默认目录下生成 bdf 文件。点击 Nastran r1 图标，在弹出的对话框中选择.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

11.6.9 结果后处理

（1）计算完毕后，重新依次设置 Action=Access Results，Object=Attach XDB，Method=Result Entities。点击 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

（2）点击工具栏中的 Results 按钮，打开如图 11-123 所示 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick。在 Select Fringe Result 列表中选择 Displacements Translational，在 Select Deformation Result 列表中选择 Displacements, Translational，点击 Apply 按钮，得到如图 11-124 所示的位移分布云图。

（3）为了更好地显示变形图，将几何模型和不变形的有限元模型隐藏。点击菜单栏 Display 下的 Plot/Erase…命令，在如图 11-125 所示的页面中，点击 Erase 命令，隐藏几何模型，点击 OK 命令退出页面。

（4）点击 Deform Attributes 按钮，如图 11-126 所示，勾选取消 Show Undeformed 和 Show Title 选项，点击 Apply 按钮，得到如图 11-127 所示的位移分布云图。

（5）点击菜单栏 Group 下的 Post…命令，打开 Group 页面，在 Select Groups to Post 列表中选择 beam1_p 和 beam1_p 组，点击 Apply 按钮，仅显示梁单元，点击 Cancel 按钮退出面板。

（6）回到 Results 页面，在 Select Fringe Result 列表中选择 Bar Stress, Axial，点击 Apply

按钮，得到如图 11-128 所示的梁轴向应力分布云图。

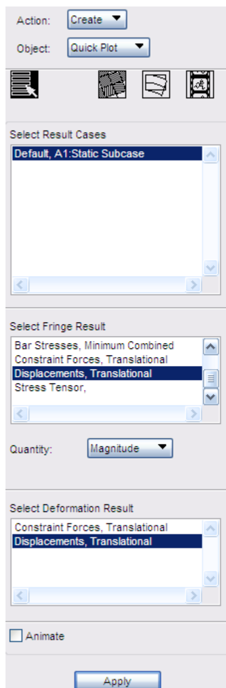


图 11-123　Results 页面

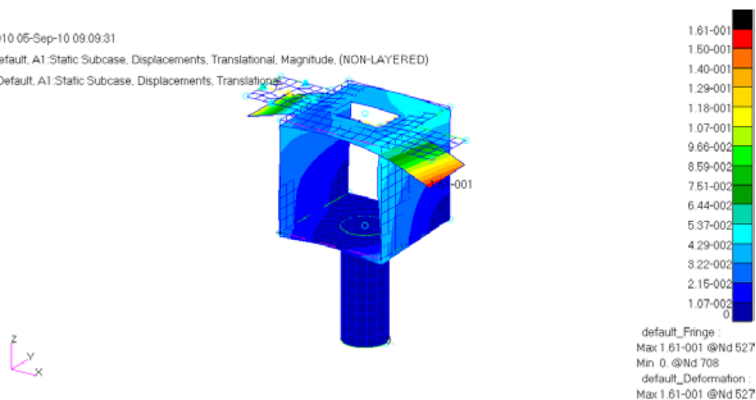


图 11-124　位移云图

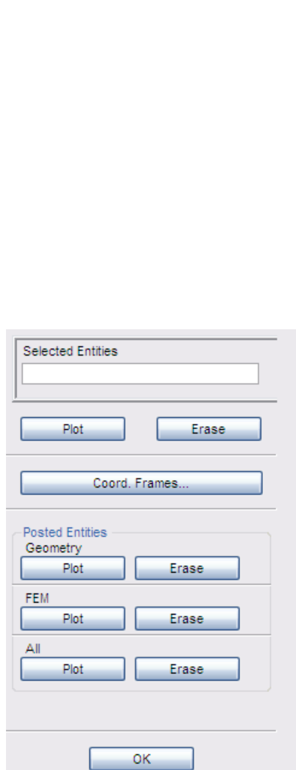


图 11-125　Plot/Erase 页面

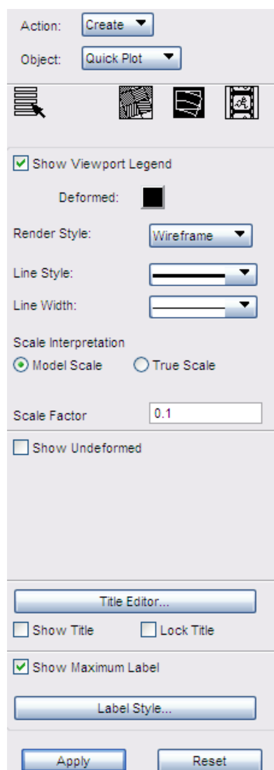


图 11-126　Results 页面

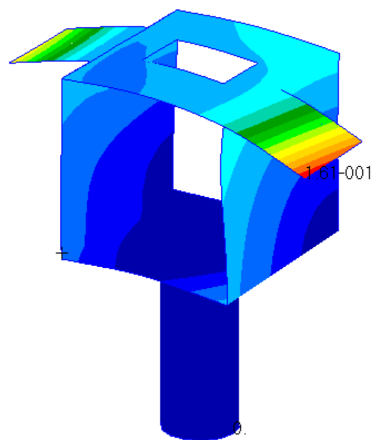


图 11-127　位移云图

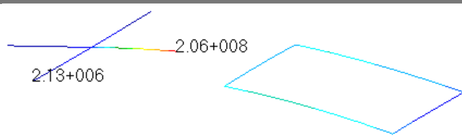


图 11-128　轴向应力分布

11.7 装配体网格划分和模型分析

该练习旨在熟悉实体编辑功能，其中包括 Solid Boolean 运算、倒角、生成薄壳体、加孔、印痕、用平面或曲面切割体等。熟悉网格自动划分功能，网格划分完毕后，在 Patran 中完成有限元模型其他部分，比如材料、单元属性。最后提交 MSC.Nastran 分析，通过 Patran 观察变形和应力结果。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\assembly_solid.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\assembly_solid.bdf。

11.7.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击命令栏 File/New，输入数据库文件名 assembly_solid.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Based on Model，Analysis Code=Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

11.7.2 创建几何模型

（1）点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 11-129 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Solid，Type=Primitive。

（2）如图 11-129 所示，在页面中部选择圆柱体图标，在 Height List 文本框中输入数值 200.0，在 Radius List 文本框中输入数值 40.0，在 Axis List 文本框中输入 Coord 0.1，自动生成圆柱体。

（3）采用相同的方法建立圆柱体，其中 Height List 值为 100.0，Radius List 值为 30.0，Base Center Point List 为[100 0 0]，Axis List 为 Coord 0.2。

（4）如图 11-130 所示，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Boolean。

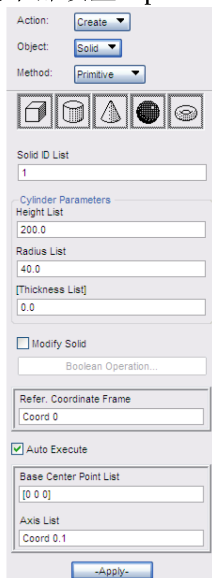
（5）如图 11-130 所示，在页面中部选择 Add 图标，在 Solid List 文本框中选择全部实体，点击 Apply 按钮实现圆柱体的加运算。

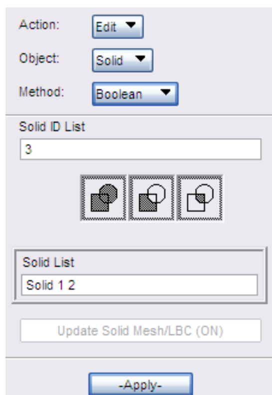
（6）如图 11-131 所示，重新依次设置 Action= Edit，Object=Solid，Method=Shell。

（7）如图 11-131 所示，在 Thickness 文本框中输入数值 5，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Solid Face List 文本中选择三个圆柱面端面，点击 Apply 按钮，得到如图 11-132 所示的几何模型。

（8）如图 11-133 所示，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Break，在

页面中部设置 Option=Plane。





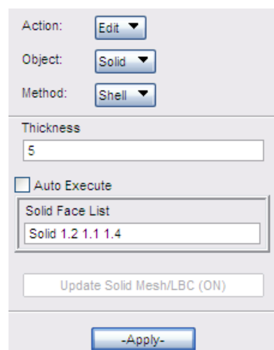
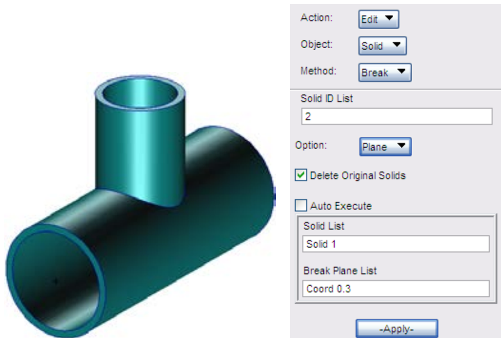
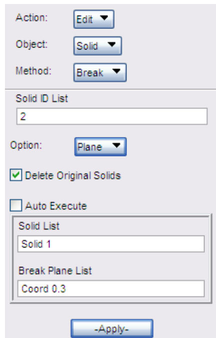


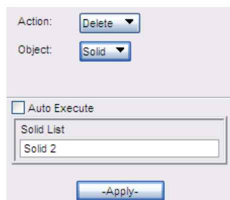
图 11-129　Geometry 页面　　图 11-130　Geometry 页面　　图 11-131　Geometry 页面

（9）如图 11-133 所示，勾选取消 Auto Excute 选项，在 Solid List 文本框中选择全部实体，在 Break Plane List 文本框中输入 Coord 0.3，点击 Apply 按钮，提示是否删除原有实体，点击 Yes For All 按钮，实现体的 1/2 切分。

（10）如图 11-134 所示，重新依次设置 Action=Delete，Object=Solid，点击 Apply 按钮删除图中左半个实体，得到如图 11-135 所示的实体模型。







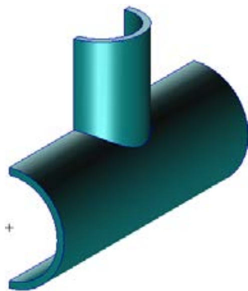


图 11-132　几何模型　图 11-133　Geometry 页面　　图 11-134　Geometry 页面　　图 11-135　几何实体

（11）如图 11-136 所示，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Edge Blend。

（12）如图 11-136 所示，选择 Constant Radius 图标，在 Constant Radius 文本框中输入数值 3，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Solid Edge List 文本框中选择两个圆柱的内外相贯线，点击 Apply 按钮，生成局部圆角。

（13）如图 11-137 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Solid，Method=Primitive。

（14）采用上述相同的方法建立小圆柱，其中 Height List 为 100.0，Radius List 为 11.0，Base Center Point List 为[50 0 0]，Axis List 为 Coord 0.3，点击 Apply 按钮，生成如图 11-138 所示的小圆柱体。

（15）如图 11-139 所示，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Break，在页面中部设置 Option=Surface。

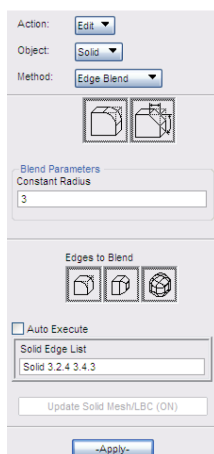


图 11-136　Geometry 页面

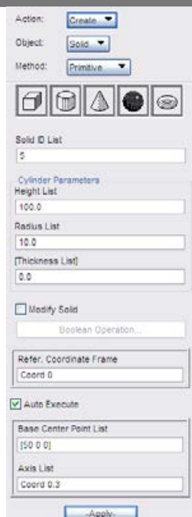


图 11-137　Geometry 页面

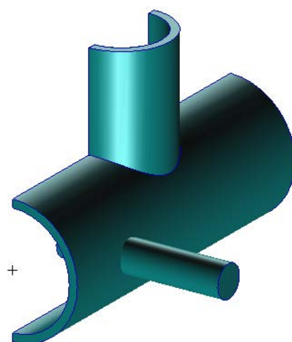


图 11-138　几何实体

（16）如图 11-139 所示，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Solid List 文本框中选择小圆柱体，在 Break Surface List 文本框中选择大圆柱内面，点击 Apply 按钮，当出现提示信息是否删除原有实体的时候，选择 Yes For All。

（17）如图 11-140 所示，重新依次设置 Action=Delete，Object=Solid。

（18）如图 11-140 所示，在 Solid List 文本框中选择小圆柱体在圆周面内的部分，点击 Apply 按钮，得到如图 11-141 所示的几何实体。

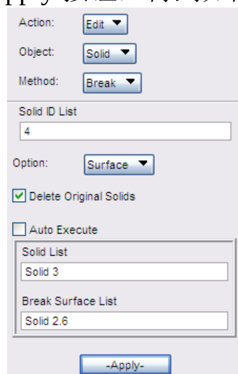


图 11-139　Geometry 页面

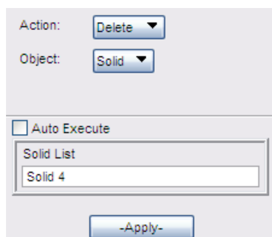


图 11-140　Geometry 页面

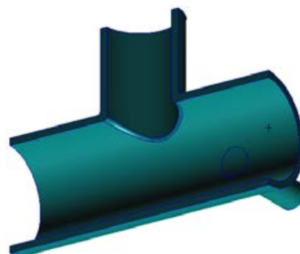


图 11-141　几何实体

（19）为了实现不同体网格的协调性，需要在实体表面打印痕。如图 11-142 所示，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Imprint。

（20）如图 11-142 所示，在 Solid List (A)文本框中选择体积较大的实体，在 Solid to Imprint List (B)文本框中选择小圆柱体，自动在两个实体相贯处实现了打印痕操作。

11.7.3　自由网格划分

（1）对体积大的实体进行网格划分。点击菜单栏上的 Meshing 按钮，打开如图 11-143 所示的 Finite Elements 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Solid。在页

面中部的 Input List 文本框中选择全部图形区内的体，取消单元全局尺寸的 Automatic Calculation 选项，在 Value 文本框中输入数值 5。

（2）如图 11-143 所示，点击页面下部的 Assembly Parameters…按钮，打开如图 11-144 所示的 Finite Elements 页面，在打开的页面中部勾选 Create Duplicate Nodes 选项，点击 Close 按钮退出页面。

（3）如图 11-143 所示，点击 Apply 按钮，生成网格模型。

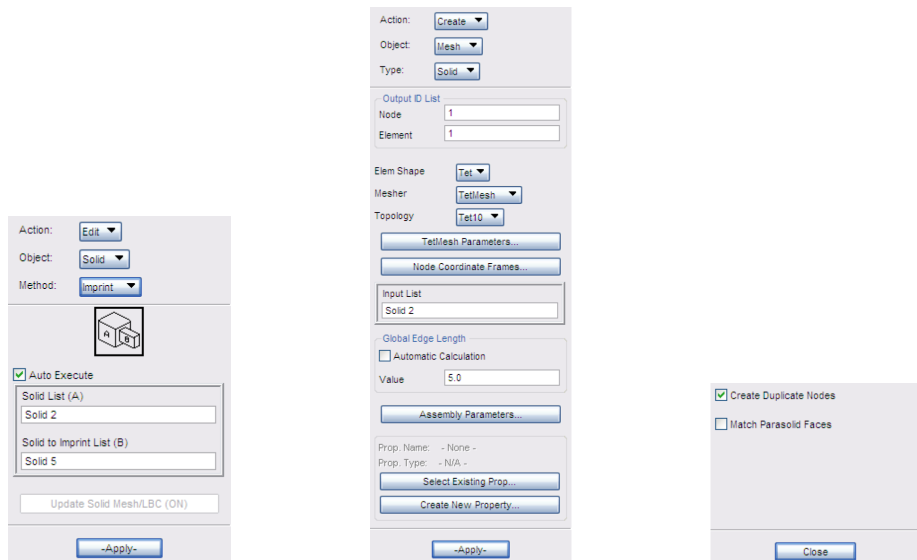


图 11-142　Geometry 页面　　图 11-143　Finite Elements 页面　图 11-144　Finite Elements 页面

（4）如图 11-145 所示，采用相同的方法，对小圆柱体进行网格划分，单元尺寸为 5。

（5）在如图 11-146 所示的页面中，勾选 Create Duplicate Nodes 和 Match Parasolid Faces 两个选项，在 Neighbor Solid List 文本框中选择体积大的实体，点击 Close 按钮退出页面。

（6）如图 11-145 所示，点击 Apply 按钮得到如图 11-147 所示的组合体网格模型。

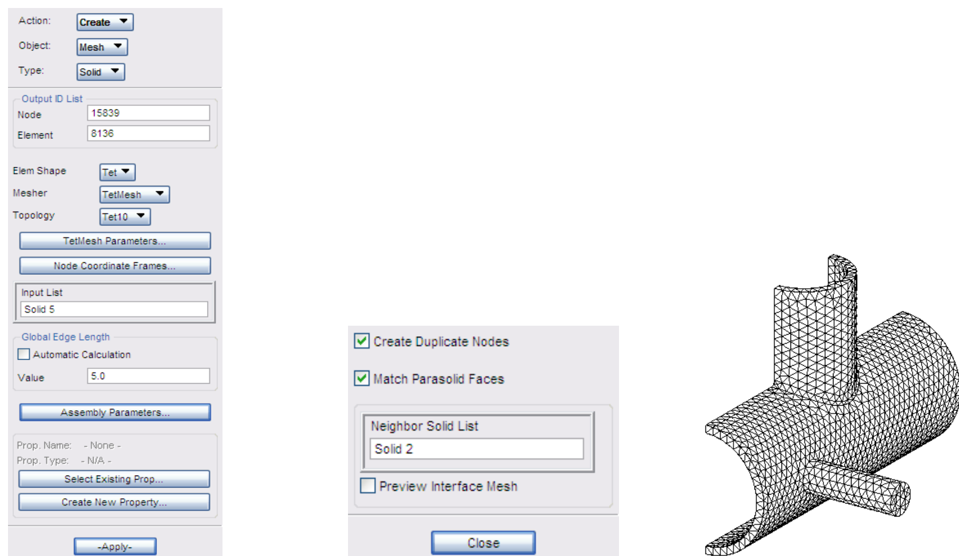


图 11-145　Finite Elements 页面　　图 11-146　Finite Elements 页面　　图 11-147　网格模型



技巧提示

放大圆柱体相贯部位，可以观察到，网格在相贯处协调。

（7）运用布尔运算在小圆柱远端三维打孔，网格可自动重划分。点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 11-148 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Solid，Type=Primitive。

（8）如图 11-148 所示，选择 Cylinder 图标，在 Height List 文本框中输入数值 100.0，在 Radius List 文本框中输入数值 11.0，在 Base Center Point List 文本框中输入[150 0 0]，在 Axis List 文本框中输入 Coord 0.3，自动生成小圆柱体。

（9）如图 11-149 所示，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Boolean。

（10）如图 11-149 所示，选择 Subtract 图标，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Target Solid 中选择体积大的实体，在 Subtracting Solid List 文本框中选择小圆柱体，点击 Apply 按钮，自动更新得到如图 11-150 所示的网格模型。

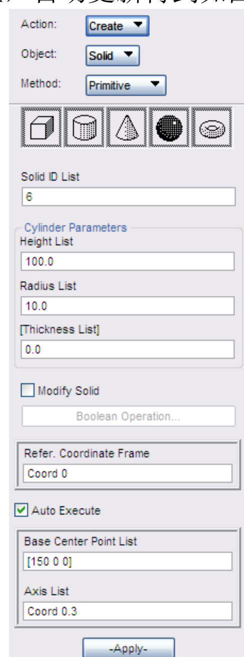


图 11-148 Geometry 页面

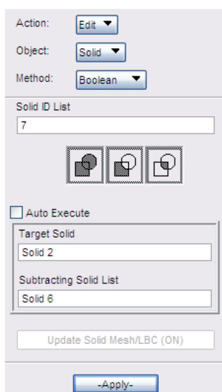


图 11-149 Geometry 页面

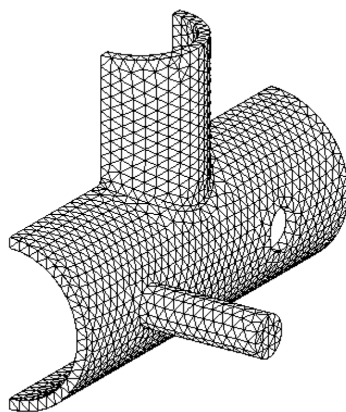


图 11-150 更新的网格模型

（11）如图 11-151 所示，在 Finite Elements 页面中，重新依次设置 Action=Equivenlence，Object=All，Method=Tolerance Cube，点击 Apply 按钮，实现重节点合并。

11.7.4 定义位移边界条件

（1）点击菜单栏上的 Load/BCs 按钮，打开如图 11-152 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Type=Nodal。

（2）如图 11-152 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中 displacement。

（3）如图 11-152 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 11-153 所示的 Input Data 页

面，在 Translation<T1 T2 T3>文本框中输入<,,0>，点击 OK 按钮退出页面。

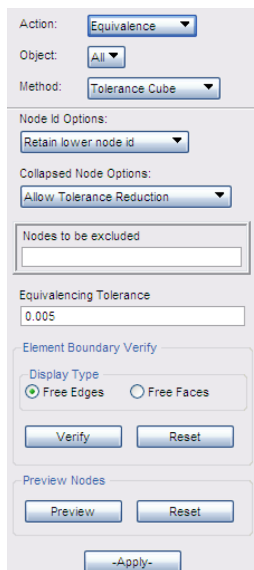


图 11-151　Finite Elements 页面

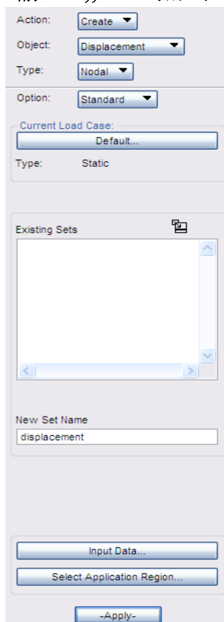


图 11-152　Load/Boundary Conditions 页面

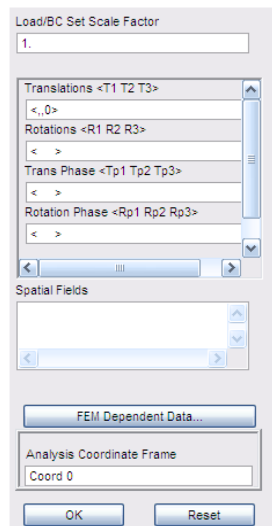


图 11-153　Input Data 页面

（4）如图 11-152 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-154 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=Geometry，在 Select Geometry Entities 文本框中选择全部对称平面，点击 Add 按钮添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 11-152 所示，点击 Apply 按钮以生成位移边界条件。

（6）采用相同的方法，定义圆柱面两端面的位移约束，其中一端固定，一端铰支。具体数据如表 11-4 所示，最后得到如图 11-155 所示的有限元模型。

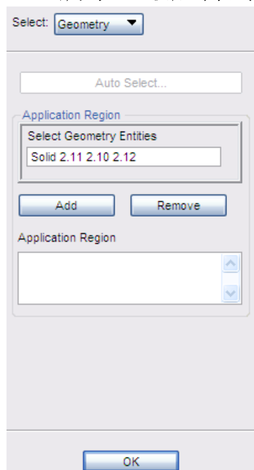


图 11-154　Select Application Region 页面

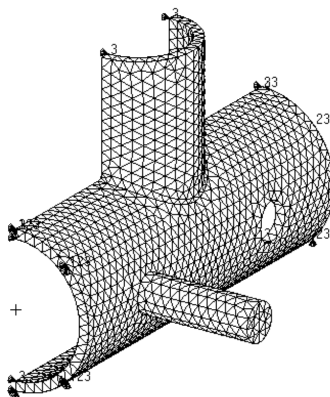


图 11-155　有限元模型

表 11-4　位移边界条件说明

New Set Name	Translation<T1 T2 T3>	Application Region
Displacement_1	<0,0,0>	Solid 2.4
Displacement_2	<,0,0>	Solid 2.3

11.7.5 定义载荷边界条件

（1）在如图 11-156 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，重新依次设置 Action= Create，Object=Pressure，Type=Element Uniform。

（2）如图 11-156 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中输入名字 pressure_1。

（3）如图 11-156 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 11-157 所示的 Input Data 页面，在 Pressure 文本框中输入数值 100，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-156 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-158 所示有限元模型，在 Select Solid Faces 文本框中选择全部内壁面，点击 Add 按钮，添加至中 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 11-156 所示，点击 Apply 按钮生成压力边界条件。

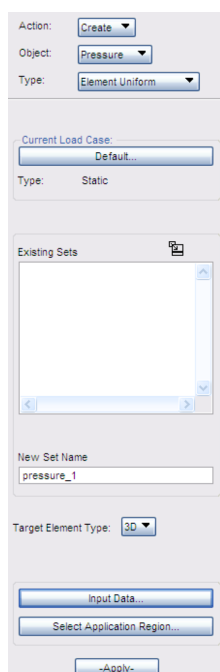


图 11-156　Load/Boundary Conditions 页面

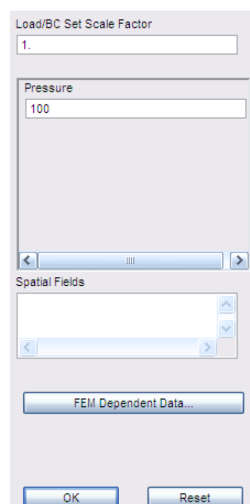


图 11-157　Input Data 页面

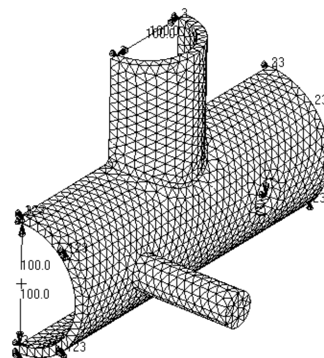


图 11-158　有限元模型

11.7.6 定义材料本构关系

（1）点击工具栏上 Properties 下的 Isotropic 按钮，打开如图 11-159 中所示的 Materials 页面。依次设置 Action=Create，Objective=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 11-159 所示，在 Material Name 文本框中输入 aluminum。

（3）如图 11-159 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 11-160 所示的 Input Options 页面。在 Constitutive Model 列表框中选择 Linear Elastic。在 Elastic Modulus 文本框中输入数值 10e6，在 Possion Ratio 文本框中输入数值 0.3，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-159 所示，点击 Apply 按钮完成材料定义。

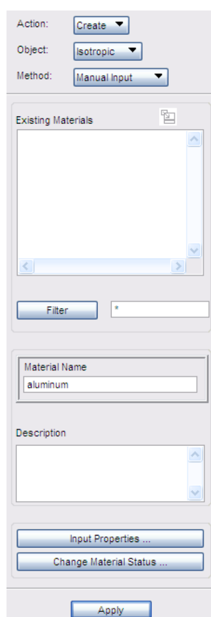


图 11-159　Material 页面

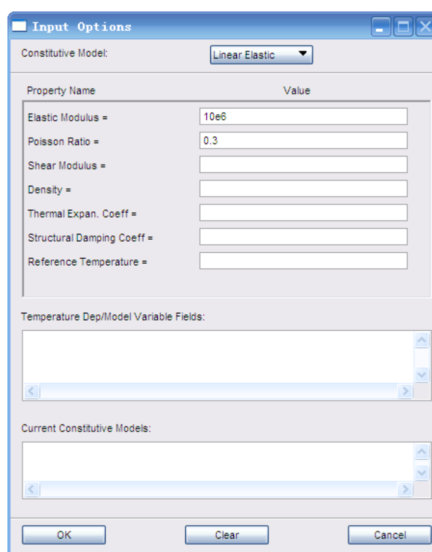


图 11-160　Input Options 页面

11.7.7 定义单元属性

（1）点击菜单栏上的 Properties 按钮，打开如图 11-161 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=3D，Type=Solid。

（2）如图 11-161 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 Property。

（3）如图 11-161 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 11-162 所示的 Input Properties 页面，在 Material Name 文本框中选择 aluminum，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-161 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开 Select Application Region 页面，在 Select Members 文本框中选择全部体，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 11-161 所示，点击 Apply 按钮，完成单元属性定义。



图 11-161　Element Properties 页面

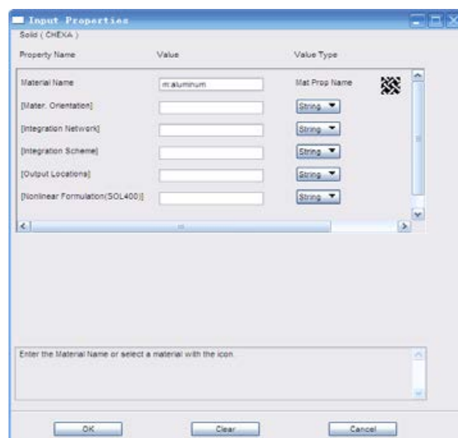


图 11-162　Input Properties 页面

11.7.8 提交分析作业

（1）点击工具栏 Analysis 按钮，打开 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）点击 Apply 按钮，在 Patran 默认目录下生成 bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

11.7.9 结果后处理

（1）计算完毕后，重新依次设置 Action=Access Results，Object=Attach XDB，Method=Result Entities。点击 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

（2）点击工具栏中的 Results 按钮，依次设置 Action=Create，Object=Quick。在 Select Fringe Result 列表中选择 Displacements Translational，在 Select Deformation Result 列表中选择 Displacements, Translational，点击 Apply 按钮，得到如图 11-163 所示的位移分布云图。

（3）重新在 Select Fringe Result 列表中选择 Stress Tensor，点击 Apply 按钮，得到如图 11-164 所示的应力分布云图。

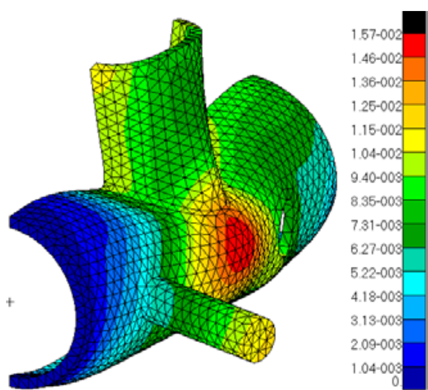


图 11-163 位移分布云图

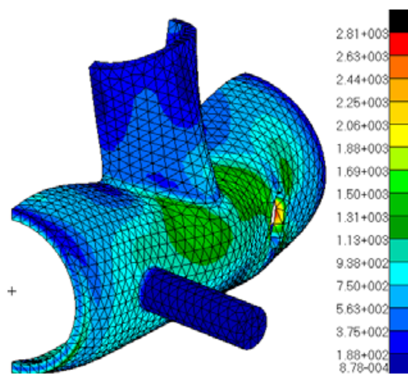


图 11-164 应力分布云图

11.8 手柄静力分析实例

本例将首先建立手柄几何模型，通过实体模型的分割，将几何模型分割为简单六面体拓扑结构，通过分组操作，将分别得到四节点四面体、十节点四面体、八节点六面体和二十节点六面体网格离散模型，并分析对比了不同离散网格下的分析结果。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\lug.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\lug.bdf。

11.8.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击命令栏 File/New，输入数据库文件名 lug.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Based on Model，Analysis Code= Nastran，Analysis Type=Structure，在 Appromimate Maximum Model Dimension 文本框中输入 11.0，点击 OK 按钮退出页面。

（3）点击命令栏 File/Import，选择 lug.xmt 文件，点击 OK 按钮以导入模型。在菜单栏中点击 Iso 1 View 图标，得到如图 11-165 所示的手柄几何模型。

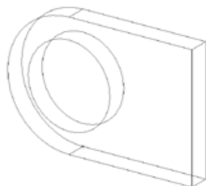


图 11-165　手柄几何模型

11.8.2 创建新组

（1）点击命令栏 Group/Modify…，打开如图 11-166 所示的 Group 页面。

（2）如图 11-166 所示，点击 Rename…按钮，在如图 11-167 所示的 Name List 页面中，Rename As 文本框中输入 hex8 作为新的组名，点击 Apply 按钮完成组的重命名。

（3）如图 11-168 所示，重新设置 Action=Create，在 New Group Name 文本框中输入 tet4，确认 Make Current 选项处于选择状态。点击 Apply 按钮生成新组，并点击 Cancel 按钮退出组页面。

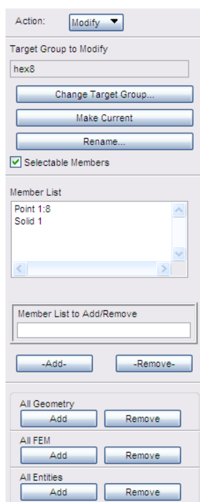


图 11-166　Group 页面

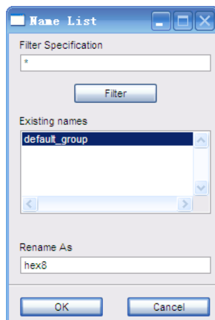


图 11-167　Name List 页面



图 11-168　Group 页面

11.8.3 创建新几何实体

本节采用平移复制的方法创建新的几何实体，并通过分组予以区别。

（1）在如图 11-169 所示的 Geometry 页面中，依次设置 Action=Transform，Object=Solid，Method=Translate。

（2）如图 11-169 所示，在 Direction Vector 文本框内输入<0 -10 0>，勾选取消 Auto Execut 选项，在 Solid List 文本框中选择图形区内的实体，点击 Apply 按钮生成如图 11-170 所示的实体。

（3）点击命令栏 Group/Post…，打开如图 11-171 所示的 Group 页面，在 Select Groups to Post 中，不选择 tet4，点击 Apply 按钮隐藏部分实体，点击 Cancel 按钮退出 Group 页面。点击菜单栏中的 Fit view 按钮，得到如图 11-172 所示的实体模型。

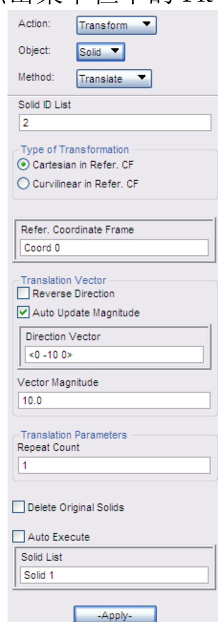


图 11-169 Geometry 页面

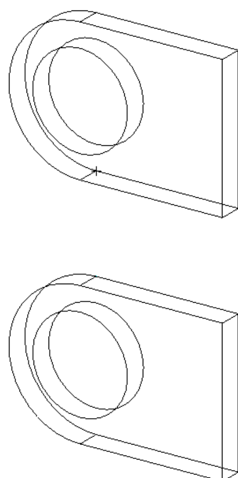


图 11-170 几何模型

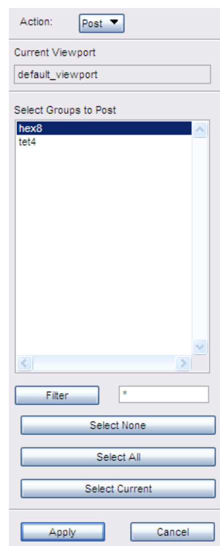


图 11-171 Group 页面

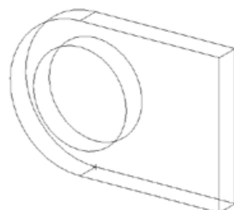


图 11-172 实体模型

11.8.4 分割几何实体

本节将首先创建几何点，并通过几何点创建分割实体的平面，从而实现几何实体的分割。

（1）选择按钮以进行点显示模式。

（2）在如图 11-173 所示的 Geometry 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Point，Method=Extract。

（3）如图 11-173 所示，勾选取消 Auto Ececute 选项，在 Curve List 文本框中选取相应的曲线，点击 Apply 按钮，得到如图 11-174 所示的几何模型。

（4）如图 11-175 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Plane，Method=3 Points。勾选取消 Auto Execute 选项，在 Point 1 List 至 Point 3 List 文本框中依次选择上述步骤生成的三点，点击 Apply 按钮，生成如图 11-176 所示的水平平面。

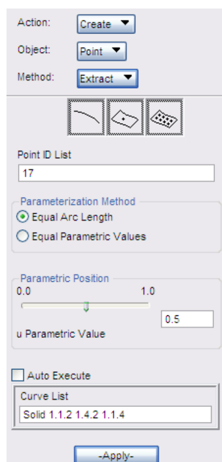


图 11-173　Geometry 页面

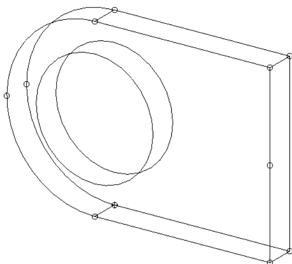


图 11-174　几何模型

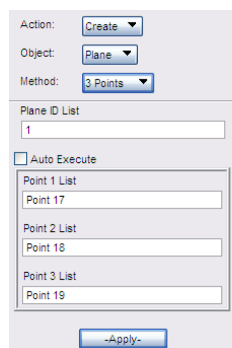


图 11-175　Geometry 页面

（5）采用相同的方法，选择三点生成如图 11-177 所示的垂直平面。

（6）如图 11-178 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Break，Option=Plane，在 Solid List 和 Break Plane List 文本框中依次选择实体和垂直平面。弹出如图 11-179 所示的 Message 对话框，选择 Yes For All 以删除原有实体。

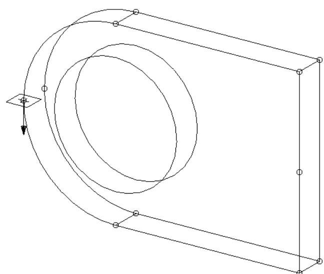


图 11-176　水平平面的几何模型

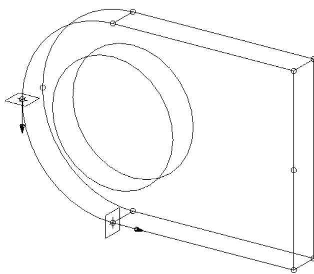


图 11-177　水平和垂直平面的几何模型

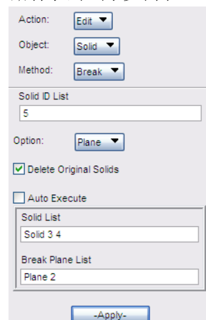


图 11-178　Geometry 页面

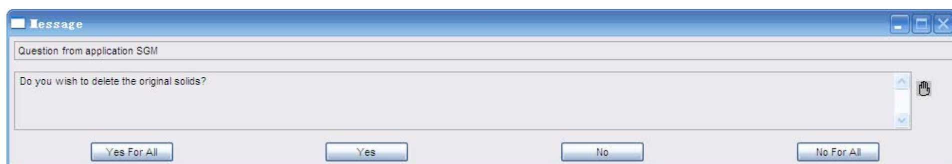


图 11-179　Message 页面

（7）采用相同的方法，选择全部实体和垂直平面，得到如图 11-180 所示的模型。

（8）在如图 11-181 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Point，Method=Extract。确认 Parametric Value 后的文本框 0.5。勾选取消 Auto Execute 选项，在 Curve List 文本框中依次选择 4 条边框，点击 Apply 按钮，得到如图 11-182 所示几何模型。

（9）在如图 11-183 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Point，Method=ArcCenter。勾选取消 Auto Execute 选项，在 Curve List 文本框中依次选择 2 条弧边以生成圆心点，得到如图 11-184 所示的几何模型。

（10）在如图 11-185 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Create，

Object=Plane，Method=3 Points。在 Point 1 List 至 Point 3 List 文本框中依次输入相应的点，得到如图 11-186 所示的几何模型。

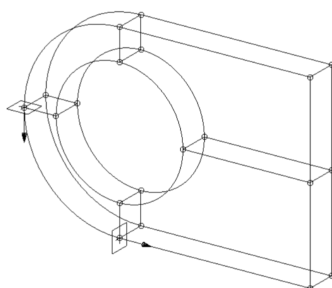


图 11-180　切除后的几何模型

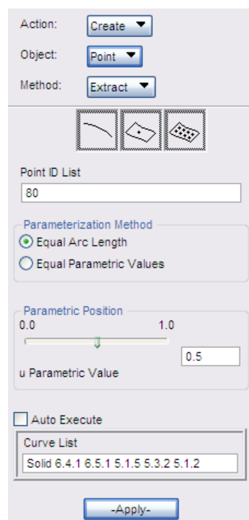


图 11-181　Geometry 页面

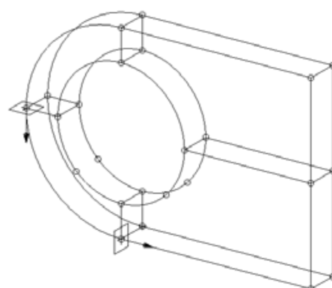


图 11-182　几何模型

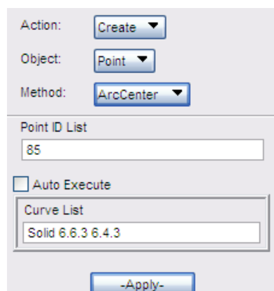


图 11-183　Geometry 页面

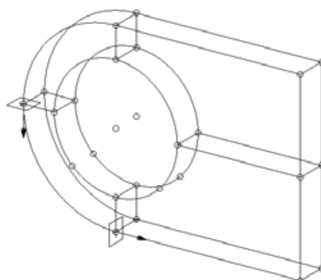


图 11-184　几何模型

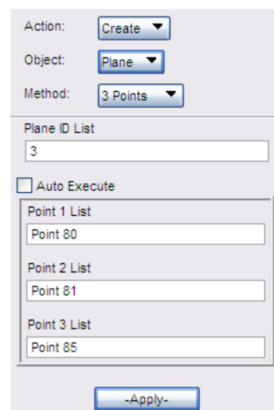


图 11-185　Geometry 页面

（11）采用相同的方法，利用生成的平面对所有实体进行切割，得到如图 11-187 所示的几何模型。

（12）采用相同的方法，生成另一倾斜的平面吗，并对实体进行切割，得到如图 11-188 所示的几何模型。

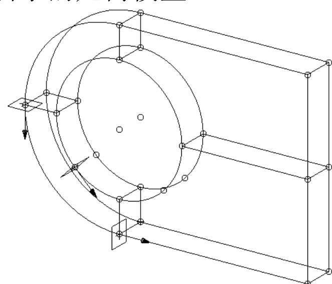


图 11-186　几何模型

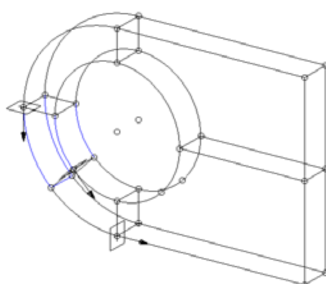


图 11-187　几何模型

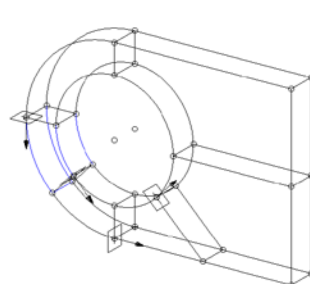


图 11-188　几何模型

（13）如图 11-189 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Point，Method=Project，在 Point List 和 Curve List 文本框中选择点和线，点击 Apply 按钮，生成如图 11-190 所示的含投影点几何模型。

（14）利用上述相同的方法，采用投影点生成垂直平面，并采用该平面对实体进行切割，得到如图 11-191 所示的几何模型。

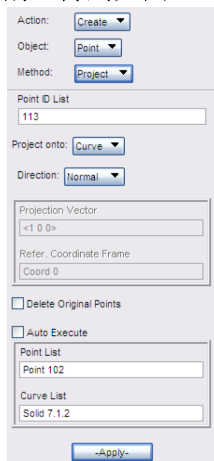


图 11-189　几何模型

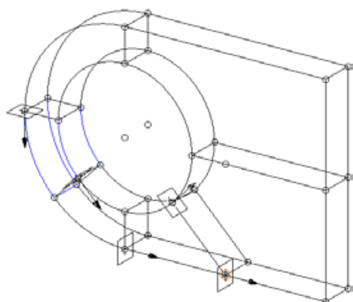


图 11-190　几何模型

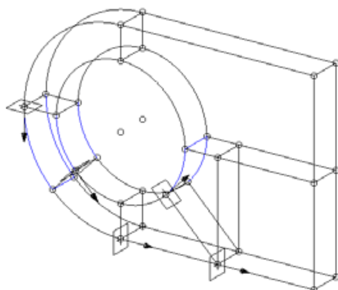


图 11-191　几何模型

（15）在如图 11-192 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Delete，Object=Solid，在 Solid List 文本框中选择上半部分全部实体，点击 Apply 按钮删除对应的实体。

（16）在如图 11-193 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Edit，Object=Solid，Method=Refit，Option :=To TriCubicNet，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Solid List 文本框中选取全部下半部分的实体，点击 Apply 按钮，出现是否删除原有实体的等信息提示，选择 Yes 按钮和 Yes fof all 按钮，注意到此时的线框模型采用蓝色表示。

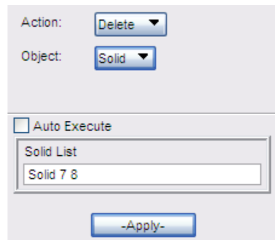


图 11-192　Geometry 页面

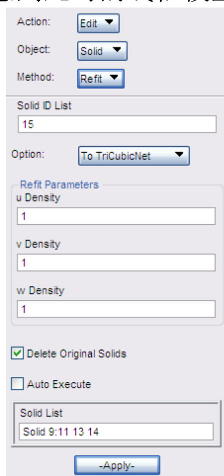


图 11-193　Geometry 页面

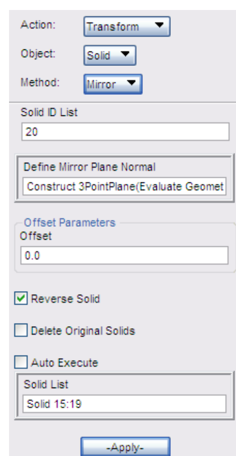


图 11-194 Geometry 页面

（17）在如图 11-194 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Transform，Object=Solid，Method=Mirror，在 Define Mirror Plane Normal 文本框中选择三点确定一个平面的按钮，并在图形区内选择表示对称水平面的三点。勾选取消 Auto Execute 选择，

在 Soldi List 文本框中选择图形区实体，点击 Apply 按钮。

（18）在如图 11-195 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action= Delete，Object=Plane，在文本框中选择多余平面，点击 Apply 按钮，生成如图 11-196 所示的几何模型。

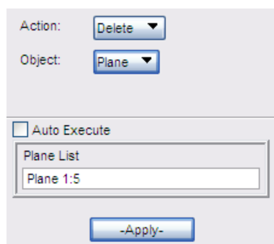


图 11-195　Geometry 页面

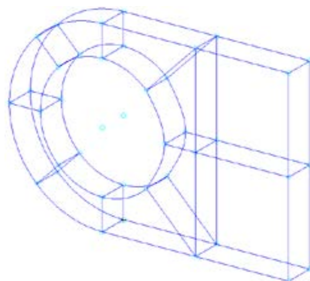


图 11-196　几何模型

11.8.5 创建新几何实体

（1）点击命令栏 Group 下的 Create…命令，打开如图 11-197 所示的 Group 页面，在 New Group Name 文本框中输入 hex20，注意到选择 Make Current 选项，点击 Apply 按钮生成新的组。

（2）如图 11-198 所示，重新设置 Action=Transform，Object=Solid，Method=Translate，在 Direction Vector 文本框中输入<15 0 0>，在 Solid List 文本框中输入，点击 Apply 按钮，生成新的几何体。

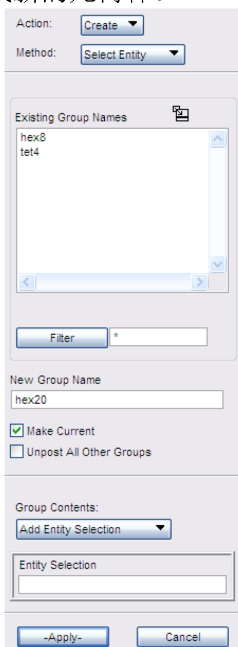


图 11-197　Group 页面

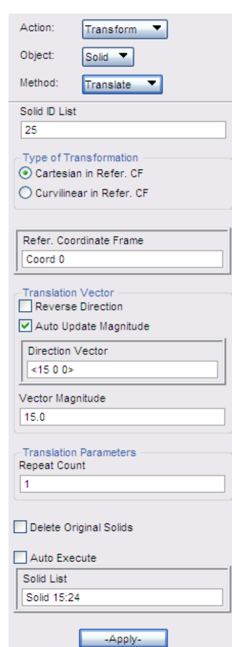


图 11-198　Geometry 页面

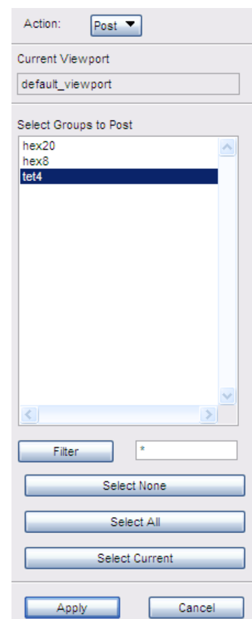


图 11-199　Group 页面

（3）在如图 11-199 所示的 Group 页面中，重新设置 Action=Post，在 Select Groups to Post 列表中选择 tet4，点击页面下部的 Apply 按钮。

（4）在如图 11-200 所示的 Geometry 页面中，重新设置 Action=Create，Object=Point，Method=Extract，生成线条中心点。采用如图 11-201 所示的设置，生成切割平面，上述相同的方法，切割实体，得到如图 11-202 所示的几何模型。

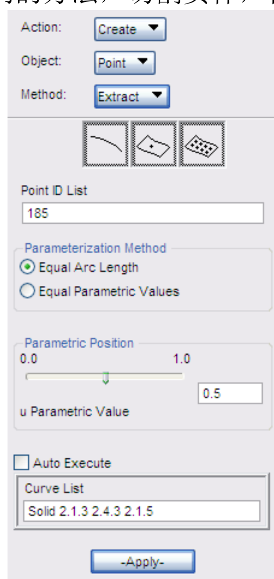


图 11-200　Geometry 页面

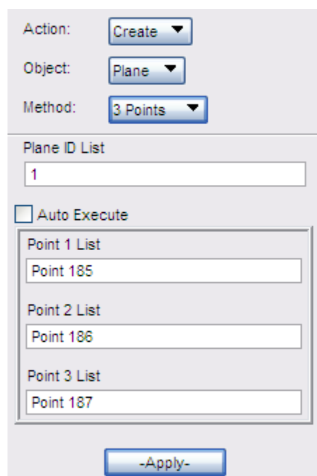


图 11-201　Geometry 页面

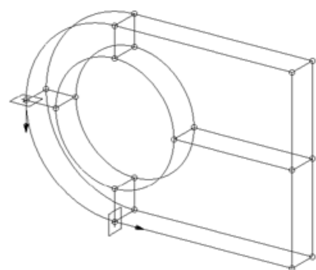


图 11-202　几何模型

（5）在如图 11-203 所示的 Group 页面中，在 New Group Name 文本框中输入 tet10，点击 Apply 按钮生成新组。

（6）在如图 11-204 所示的 Geometry 页面中，重新依次设置 Action=Transform，Object=Solid，Method=Translate。

（7）如图 11-204 所示，在 Direction Vector 文本框中输入<15 0 0>。

（8）如图 11-204 所示，取消 Auto Execute 选项，在 Solid List 文本框中框选 tet4 组中的全部实体，点击 Apply 按钮生成 tet10 组件实体模型。

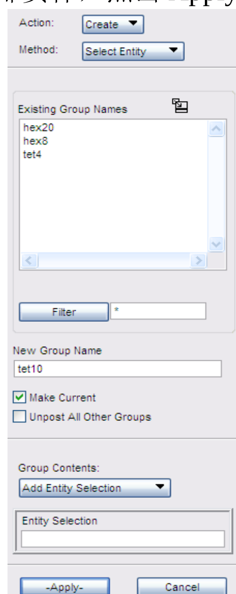


图 11-203　Group 页面

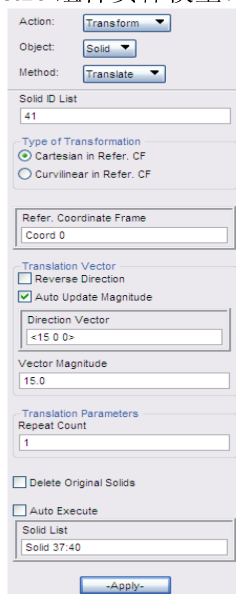


图 11-204　Geometry 页面

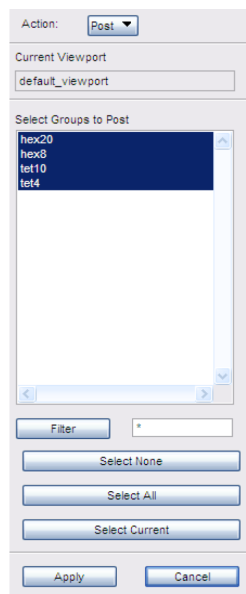


图 11-205　Group 页面

（9）在如图 11-205 所示的 Group 页面中，设置 Action=Post，选择全部组件，点击 Apply 按钮，得到如图 11-206 所示的几何模型。

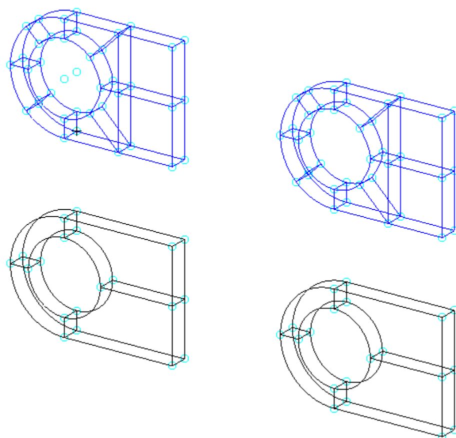


图 11-206　几何模型

11.8.6 创建局部坐标系与网格划分

为了实现函数加载，需首先创建局部坐标系。本节将首先创建局部圆柱坐标系，并通过平移复制的方法来生成其他圆柱坐标系。

（1）点击菜单栏上的 Geometry 按钮，打开如图 11-207 所示的 Geometry 页面，重新依次设置 Action=Create，Object=Cood，Method=3 Point，Type=Cylindrical，勾选取消 Auto Execute 选项。Origin 中选择内圆心点，Point on Axis3 中选择外圆心点，Point on Plane1-3 中选择外圆心点垂直向上的点，点击 Apply 按钮生成局部坐标系，局部几何模型显示如图 11-208 所示。

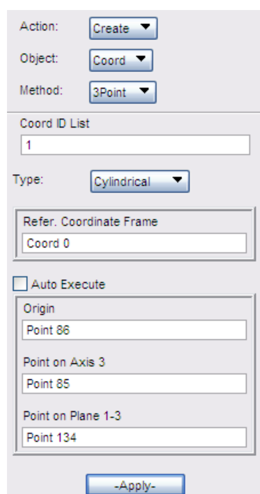


图 11-207　Geometry 页面

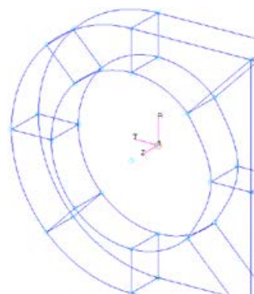


图 11-208　局部几何模型显示

（2）点击 Group 下的 Modify…按钮，如图 11-209 所示，点击 Change Target Group…按钮，打开如图 11-210 所示的 Change Target Group 页面，从 Existing Groups 列表中选择 hex8，点击 Cancel 按钮退出页面。

（3）如图 11-209 所示，点击 Make Current 按钮，使当前组为 Hex8。

（4）点击菜单栏上的 Meshing 按钮，打开如图 11-211 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Tyep=Solid，在页面中部依次设置 Elem Shape=Hex，Mesher=IsoMesh，Topology=Hex8。在 Solid List 文本框中选择，勾选取消 Automatic Calculation 选项，在 Value 文本框中输入数值 0.5，点击 Apply 按钮生成网格。

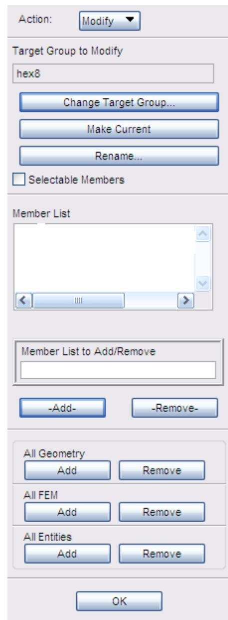


图 11-209　Group 页面

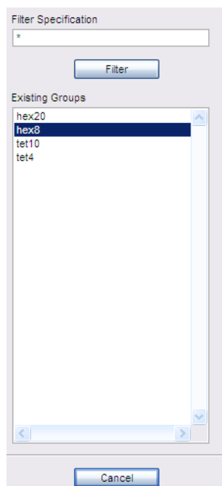


图 11-210　Change Target Group 页面

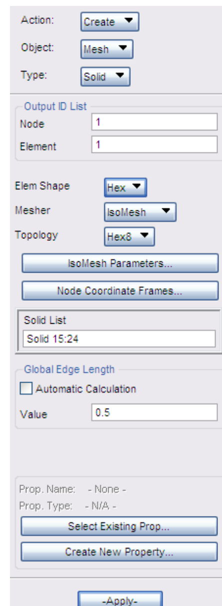


图 11-211　Finite Elements 页面

（5）采用相同的方法进行网格划分，所不同之处在于 Topology=Hex20。

（6）采用相同的方法进行网格划分，所不同之处在于 Elem Shape=Tet，Topology=Tet4 和 Tet10。

（7）如图 11-212 所示，重新依次设置 Action=Equivalence，Object=All，Method= Toloerance Cube，点击 Apply 按钮完成重节点合并，得到如图 11-213 所示的网格模型。

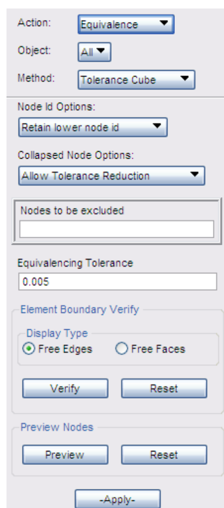


图 11-212　Finite Elements 页面

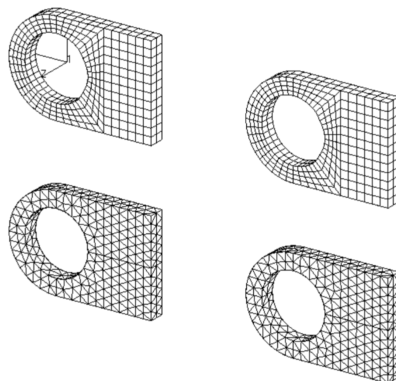


图 11-213　网格模型

（8）在如图 11-214 所示的页面中，重新依次设置 Action=Transform，Object=Coord，Method=Translate，在 Directopm Vector 文本框中输入<15 0 0>，在 Coordinate Frame List 文本框中输入 Coord 1，点击 Apply 按钮，生成局部坐标系 2。

（9）采用相同的方法，如图 11-215Geometry 页面所示，在 Directopm Vector 文本框中输入<0 -10 0>，在 Coordinate Frame List 文本框中输入 Coord 1 2，点击 Apply 按钮，得到如图 11-216 所示的网格模型。

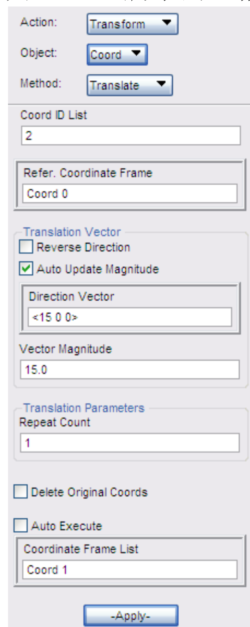


图 11-214　Geometry 页面

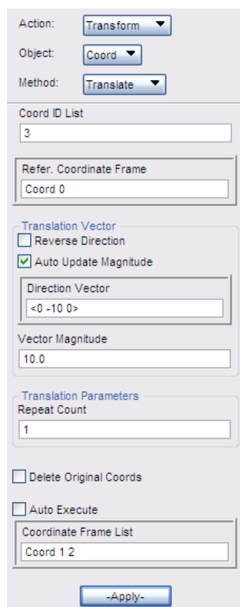


图 11-215　Geometry 页面

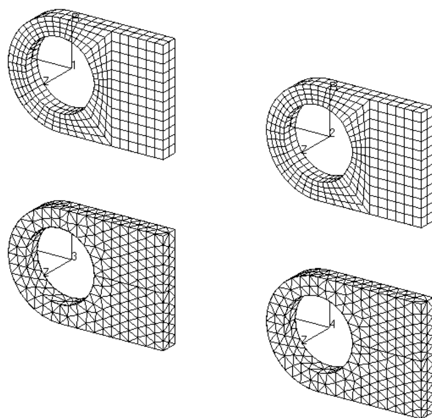


图 11-216　网格模型

11.8.7 定义压力边界条件

本节将定义随空间变化的压力边界条件，其中空间坐标系为上节定义的各个局部圆柱坐标系。

（1）在如图 11-217 所示的 Fields 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Spatial，Method=PCL Function。

（2）如图 11-217 所示，在 Field Name 文本框中输入 sin_pressure_hex8，在 Coordinate System 文本框中输入 Coord1，Scalar Function 文本框中输入 sinr(‘T)，点击 Apply 按钮，生成空间场。

（3）采用相同的方法生成其他不同的空间场，其名称和对应的坐标系如表 11-5 所示。

表 11-5　空间场对应的局部坐标系名称

名称	坐标系
sin_pressure_hex8	Coord 1
sin_pressure_hex20	Coord 2
sin_pressure_tet4	Coord 3
sin_pressure_tet10	Coord 4

（4）点击菜单栏上的 Loads/BCs 按钮，在如图 11-218 所示的页面中，依次设置 Action=Create，Object=Pressure，Type=Element Uniform。

（5）如图 11-218 所示，在 New Set Name 文本框中输入 hex8。

（6）如图 11-218 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 11-219 所示的 Input Data 页面，在 Load/BC Set Scale Factor 文本框中输入数值 1000，在 Pressure 文本框中选择 sin_pressure_hex8，点击 OK 按钮退出页面。

（7）如图 11-218 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-220 所示的 Select Application Region 页面，在 Select Solid Faces 文本框中选择，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（8）如图 11-218 所示，点击 Apply 按钮，生成压力边界条件。

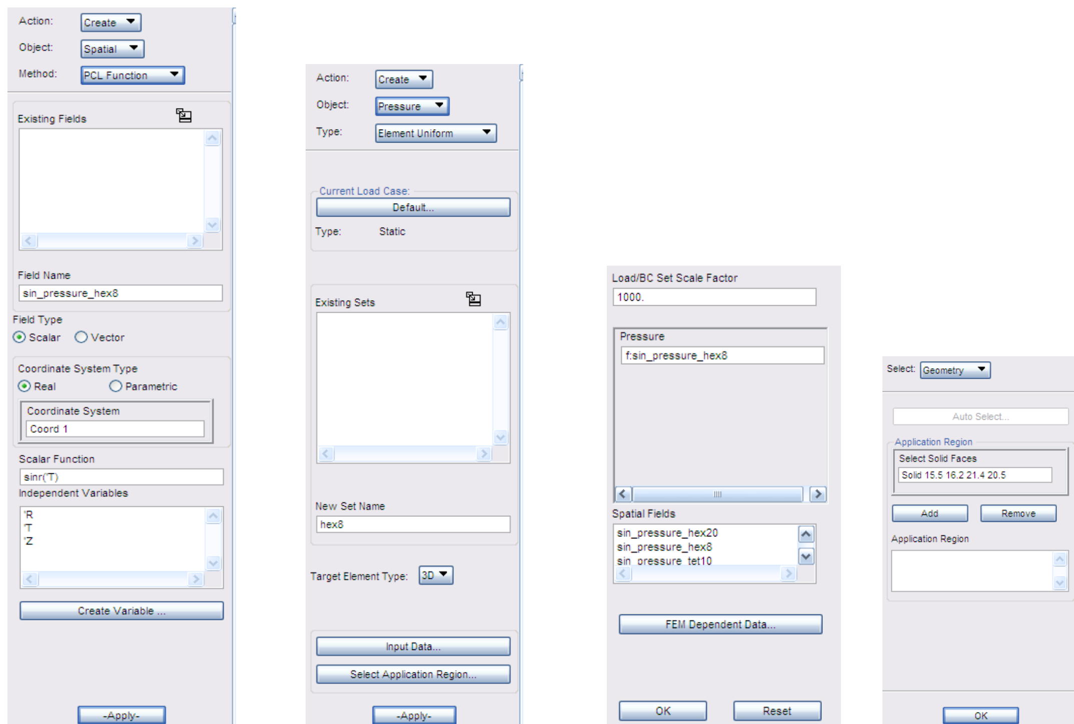


图 11-217 Fields 页面　图 11-218 Load/Boundary Conditions 页面　图 11-219 Input Data 页面　图 11-220 Select Application Region 页面

11.8.8 定义位移边界条件

本节将定义各个手柄的位移边界条件，其中各个手柄端面进行全约束处理。

（1）如图 11-221 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Type=Nodal。

（2）如图 11-221 所示，在 New Set Nmae 文本框中输入 cosntraint。

（3）如图 11-221 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 11-222 所示的 Input Data 页面，在 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<0., 0., 0.>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-221 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-223 所示的 Select Application Region 页面，在 Select Geometry Entities 文本框中选择各个端面，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 11-221 所示，点击 Apply 按钮生成位移边界条件，得到如图 11-224 所示的有限元模型。

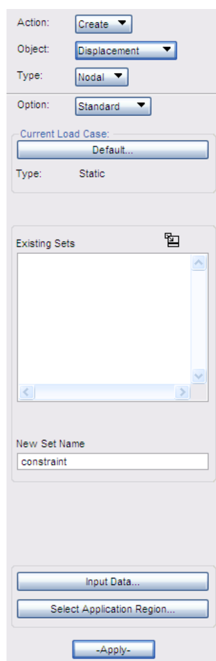


图 11-221 Load/Boundary Conditions

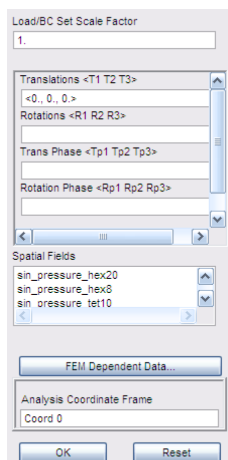


图 11-222 Input Data

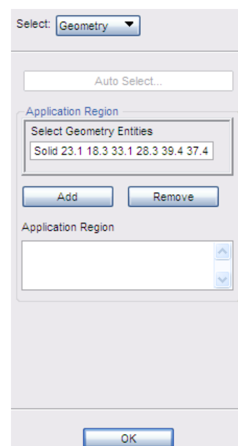


图 11-223 Select Application Region

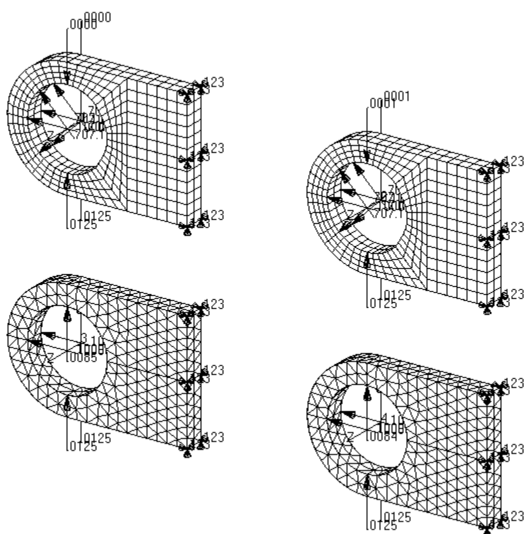


图 11-224 有限元模型

11.8.9 定义材料本构关系

本节将定义线弹性材料。

（1）点击菜单栏下 Properties 下的 Isotropic 按钮，如图 11-225 所示，依次设置 Action=Create， Object=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 11-225 所示，在 Material Name 文本框中输入 Aluminum。

（3）如图 11-225 所示，点击 Input Properties 按钮，打开如图 11-226 所示的 Input Options 页面，在 Elastic Modulus 文本框输入数值 10E6，Possion Ratio 文本框输入数值 0.3，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-225 所示，点击 Apply 按钮，完成材料定义。

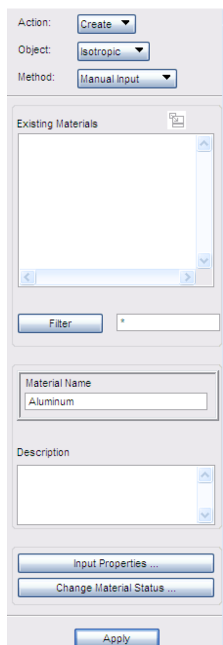


图 11-225　Materials 页面

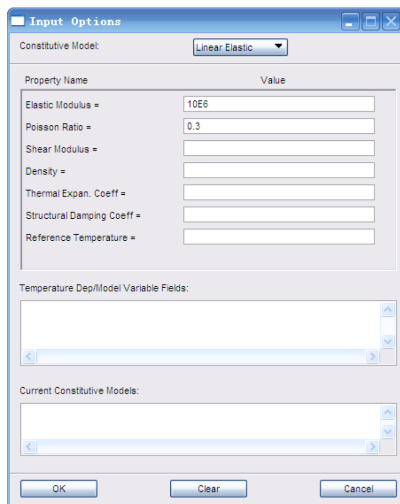


图 11-226　Input Options 页面

11.8.10 定义单元属性

本节将定义实体单元属性。

（1）点击菜单栏上的 Properties 按钮，打开如图 11-227 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=3D，Type=Solid。

（2）如图 11-227 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 Solid。

（3）如图 11-227 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 11-228 所示的 Input Properties 页面，在 Material Name 文本框中选择 Aluminum，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 11-227 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 11-229 所示的 Select Application Region 页面，在 Select Members 文本框中选择全部实体，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 11-227 所示，点击 Apply 按钮，完成实体单元属性定义。

11.8.11 提交分析作业

（1）点击菜单栏上的 Analysis 按钮，打开如图 11-230 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 11-230 所示，点击 Apply 按钮，在 Patran 默认目录下生成 bdf 文件。点击

MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

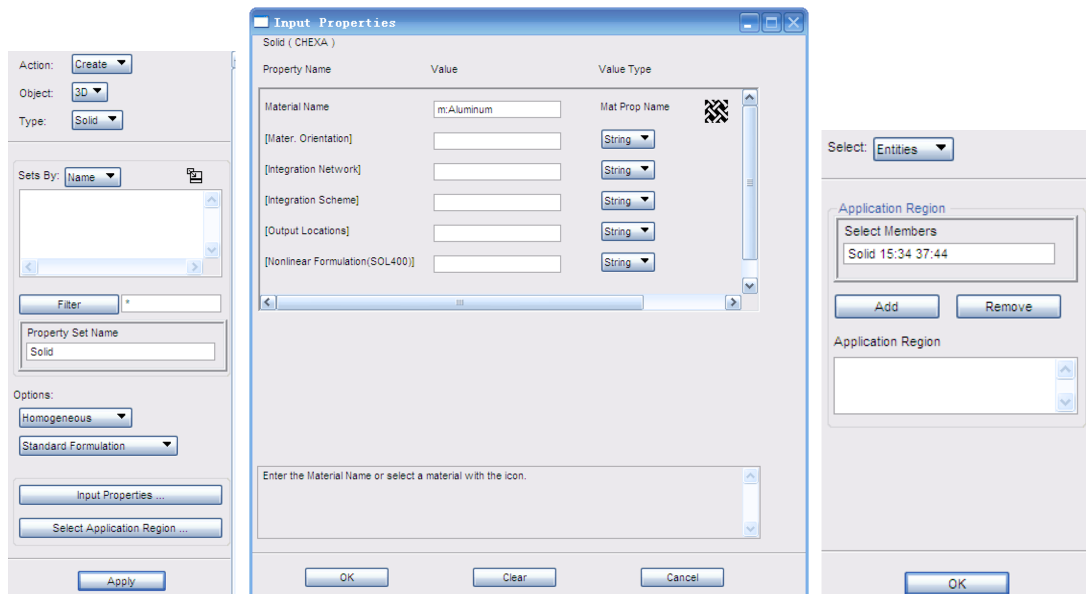


图 11-227 Element Properties 页面

图 11-228 Input Properties 页面

图 11-229 Select Application Region 页面

11.8.12 结果后处理

（1）计算完毕后，如图 11-231 所示，重新依次设置 Action=Access Results，Objective=Attach XDB，Method=Result Entities。点击 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

（2）点击命令栏 Display 下的 Plot/Erase 命令，打开如图 11-232 所示的 Plot/Erase 页面，点击 Geometry 下的 Erease 按钮以消隐全部几何实体模型。

（3）点击工具栏中的 Results 按钮，打开如图 11-233 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick Plot。在 Select Fringe Result 列表中选择 Displacements, Translational，在 Select Deformation Result 列表中选择 Displacements, Translational。

（4）点击 Fringe Attributes 按钮，打开如图 11-234 所示的 Results 页面，勾选取消 Show Viewport Legend 和 Show Title 选项。

（5）点击 Deform Attributes 按钮，打开如图 11-235 所示的 Results 页面，勾选取消 Show Viewport Legend，Show Undeformed 和 Show Title 选项，点击 Apply 按钮，得到如图 11-236 所示的位移分布云图。

（6）采用类似的方法，得到如图 11-237 所示的应力分布云图。



技巧提示

相对而言，基于二十节点的六面体网格精度最高，故而对应的位移变形值最大。

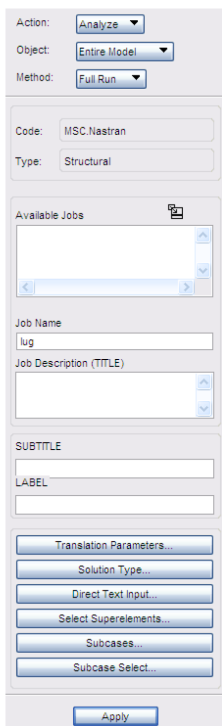


图 11-230　Analysis 页面

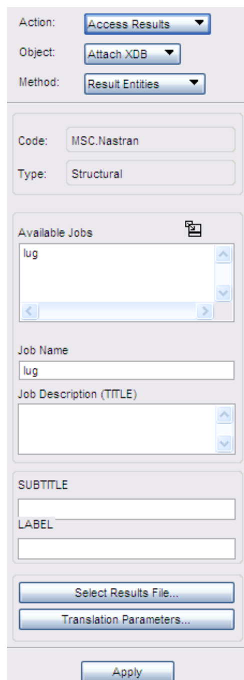


图 11-231　Analysis 页面

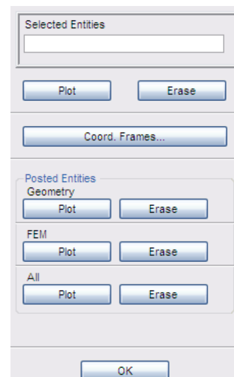


图 11-232　Plot/Erase 页面

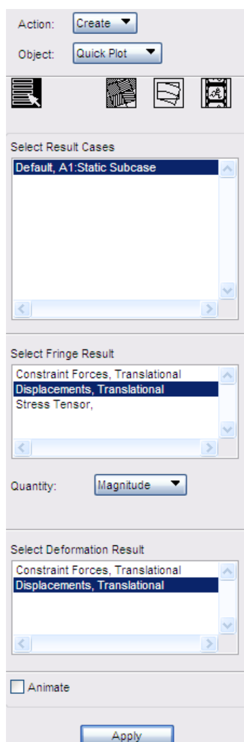


图 11-233　Results 页面

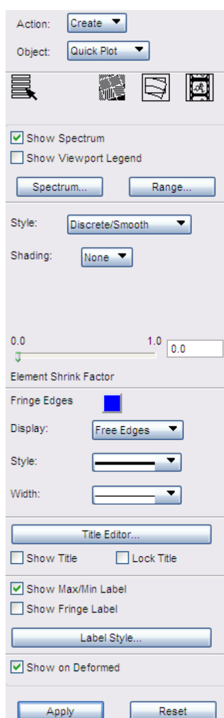


图 11-234　Results 页面

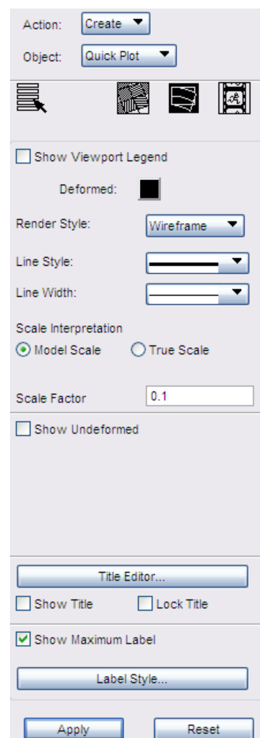


图 11-235　Results 页面

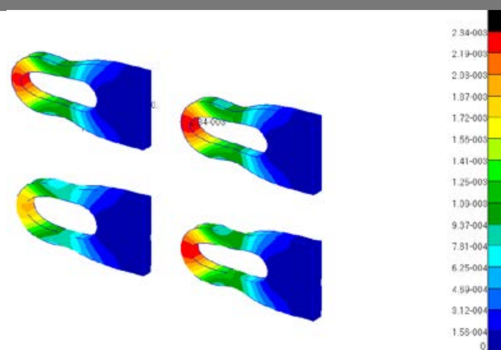


图 11-236　位移分布云图

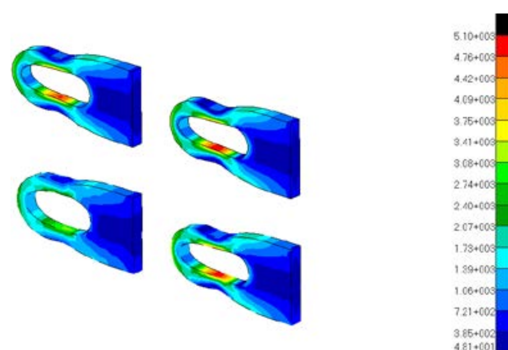


图 11-237　应力分布云图

第 12 章　屈曲分析

内容导航



屈曲分析主要用于研究结构在特定载荷下的稳定性以及确定结构失稳的临界载荷。本章主要讲述了线性屈曲分析。

通过本章的学习，读者可以了解使用 Patran 和 Nastran 进行屈曲分析的分析流程以及各种参数的设置，完整深入掌握线性屈曲分析的方法。

重点剖析

* 薄壁圆筒屈曲分析
* 板屈曲分析

12.1　屈曲分析的步骤

在使用 Patran 2010 进行结构屈曲分析时，一般要进行以下步骤的操作：

（1）创建或者读入几何模型。

（2）划分有限元模型。

（3）设定边界条件及施加载荷。

（4）定义材料属性。

（5）定义单元特性。

（6）定义屈曲分析类型。

（7）使用 MD Nastran 求解。

（8）查看分析结果。

12.2　薄壁圆筒屈曲分析

如图 12-1 所示，薄壁圆筒的半径 R=2540 mm，高 h=20320 mm，壁厚 t=12.35 mm，材料的弹性模量 E＝200GPa，泊松比 ν ＝0.3，计算薄壁圆筒的屈曲模式及临界载荷。其计算分析过程如下。

12.2.1 创建一个数据文件

直接单击按钮，或选择菜单 File>New 命令，弹出 New Database 窗口，输入文件名 cylinder，单击 OK 创建数据文件 cylinder.db。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Structural，单击 OK，如图 12-2 所示。

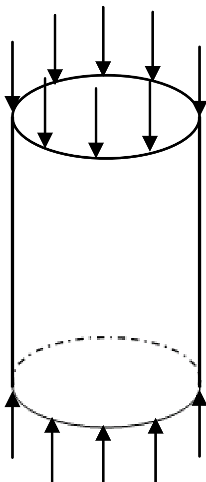


图 12-1　薄壁圆筒的示意图



图 12-2　新建任务

12.2.2 创建几何模型

（1）由于对称性，建立模型时取一半结构进行分析。单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，开始创建几何模型。单击 Select>Curves 下图标 2D Circle （Action>Create, Object >Curve, Method>2D Circle），在 Input Radius 中输入半径值为 2540，勾掉 Auto Execute，单击 Apply，创建曲线。

（2）复制圆筒的下端面以建立其上端面。单击 Transformer 下图标 （Action> Transform, Object>Curve, Method>Translate），Refer. Coordinate 中选择 Coord 0，Direction Vector 中输入<0 0 10160>，Repeat Count 输入 1，勾掉 Delete Original Curve 和 Auto Execute，在 Curve List 选项中选择 Curve 1，单击 Apply。

（3）单击 Select>Surfaces 下图标 Curve （Action>Create, Object>Surface, Method> Curve, Option>2Curve），勾掉 Auto Execute，Starting Curve List 中选择 Curve1，Ending Curve List 中选择 Curve 2，单击 Apply 按钮，生成曲面。单击 Home 下的 按钮和按钮，生成的曲面如图 12-3 所示。

12.2.3 划分有限元网格

单击 ***Meshing*** 应用工具按钮，开始创建有限元模型。单击 Mesh Seeds 下图标

（Action>Create, Object>Mesh Seed, Type>Uniform），选中 Number of Elements, Number=64，选中 Auto Execute，Curve List 输入框中选择 Curve 1。重复以上操作，令 Number＝40，在 Curve List 输入框中选择 Surface1.1。然后划分单元 Action >Create，Object>Mesh, Type>Surface, Elem Shape 选择 Quad，Mesher 选择 Isomesh，Topology 选择 Quad4，在 Surface List 中，选择创建的平面 Surface 1，单击 Apply，划分网格后的模型如图 12-4 所示。

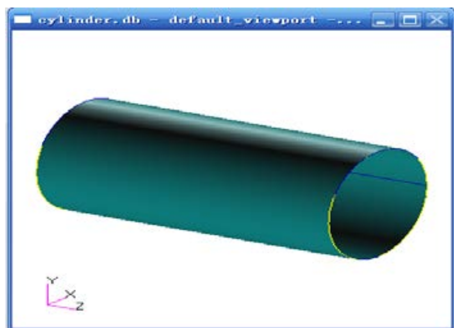


图 12-3　几何模型

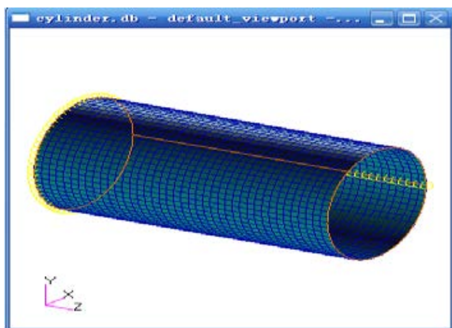


图 12-4　划分网格后的模型

12.2.4 设置边界条件及载荷

（1）定义边界条件。单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮，单击 Displacement Constraints 图标 （Action>Create，Object>Displacements，Type>Nodal）。在 New Set Name 选项中输入 bottom，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>和 Rotations<R1 R2 R3>输入框中，分别输入< , ,0>和<0,0, >，Analysis Coordinate Frame 输入框中设置为 Coord 0，单击 OK。单击按钮，改变视图显示，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选择如图 12-5 中圆筒底端框中的节点，单击 Add、OK、Apply 按钮。

重复以上操作，在 New Set Name 中输入 top，Translations<T1 T2 T3>和 Rotations<R1 R2 R3>输入框中，分别输入<0,0, >和< , , >，Analysis Coordinate Frame 输入框中设置为 Coord 0，单击 OK，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，然后选择图 12-5 中上部框中的节点，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

（2）定义载荷。单击 Elements Uniform 下 CID Distributed Load 图标 （Action>Create，Object>CID Distributed Load，Type>Element Uniform），在 New Set Name 中输入 load1，Target Element Type 选择 2D，单击 Input Data 按钮，Load/BC Set Scale Factor 设置为 1，Edge Distr Force<F1 F2 F3>设置为<0,0,-10>，Analysis Coordinate Frame 输入框中设置为 Coord 0，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region…按钮，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选择圆筒顶部的单元 Elm 2497:2560，单击 Add、OK、Apply 按钮，创建边界条件和加载后的有限元模型如图 12-6 所示。

12.2.5 定义材料属性

单击 ***Properties*** 下 Isotropic 应用工具按钮 （Create>Isotropic>Manual Input），Material

Name: elastic，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，Constitutive Model 选择 Linear Elastic，在 Elastic Modulus 中输入 2e5，在 Poisson Ratio 中输入 0.3，单击 OK、Apply，完成材料的创建。

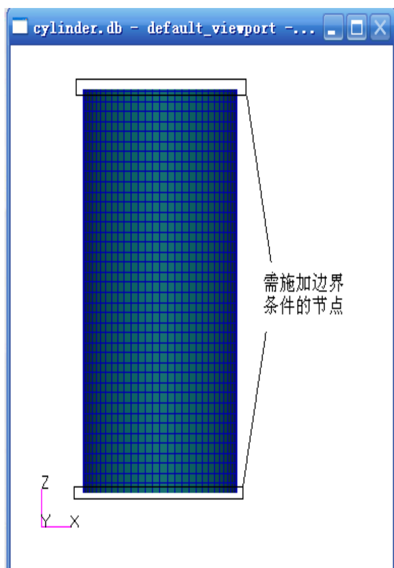


图 12-5 施加边界条件的节点

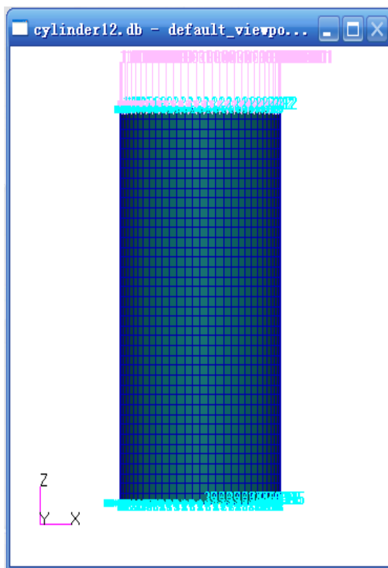


图 12-6 施加边界条件和载荷的有限元模

12.2.6 定义单元属性

单击 ***Properties*** 下 2D Properties 应用工具按钮 （Create>2D>Shell），在 Property Set Name 中输入 shell，打开 Input Properties 按钮对应的面板，点击 ，在 Mat Prop Name 中选择 elastic，在 Thickness 选项中输入 12.35，单击 OK；在 Application Region 选项框，选中 Surface1，点击 Add、OK、Apply，完成定义单元属性。

12.2.7 进行分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，单击图标 （Analyze>Entire Model>Full Run），单击 Solution Type 按钮，选择求解类型为 BUCKING，单击 Solution Parameters 按钮，在弹出的面板中单击 Eigenvalue Extraction…按钮，进入如图 12-7 所示的面板，定义屈曲阶数 Number of Desired Roots 为 4，单击 OK；单击 Results Output Format 按钮，勾选 OP2 选项和 Print 选项，连续三次单击 OK，单击 Apply，系统弹出 Nastran 计算对话框，开始计算。

12.2.8 查看分析结果

（1）单击 ***Analysis*** 应用工具按钮 Access Results 下图标 （Action>Access Results,

Object>Read Output2, Method>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 cylinder.op2，单击 OK、Apply。

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮的下图标（Action>Create, Object> Quick plot），单击图标，如图 12-8 所示，即可显示出可以查看的所以计算结果。在 Select Result Cases 中选择 Default, Static Subcase; -MD NASTRAN…，Select Fringe Result 中选择 Eigenvectors, Translational 选项，在 Select Deformation Result 选项中选择 Eigenvectors, Translational 选项，单击 Apply，即显示出静态位移的情况，如图 12-9 所示。

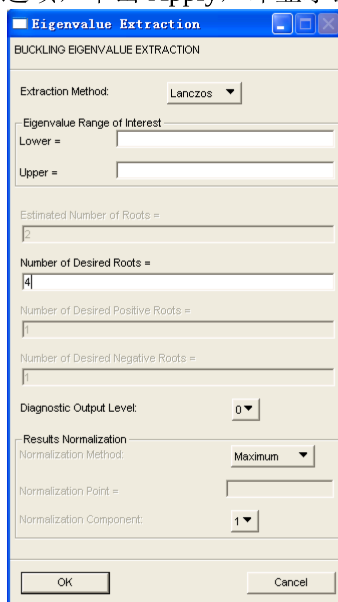


图 12-7　定义屈曲阶数

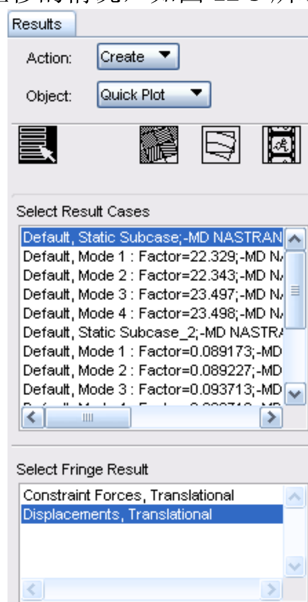


图 12-8　计算结果

在 Select Result Cases 中选择 Default，Mode 3: Factor=0.093713; -MD…，Select Fringe Result 中选择 Eigenvectors, Translational 选项，在 Select Deformation Result 选项中选择 Constraint Forces, Translational 选项，单击 Apply，显示出其轴向的屈曲情况，如图 12-10

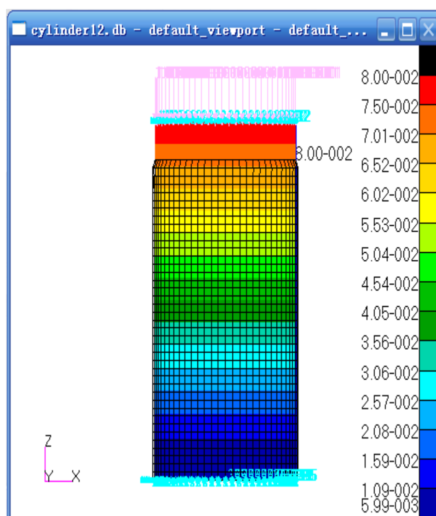


图 12-9　静态位移图

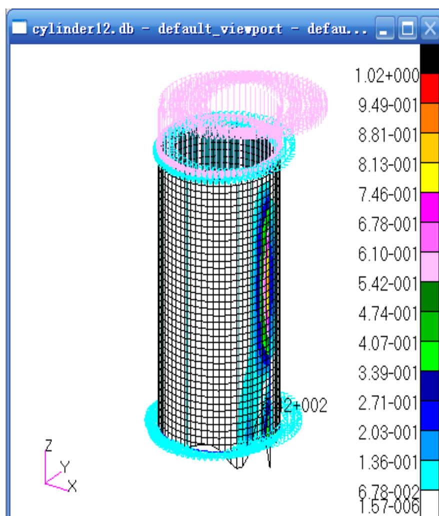


图 12-10　轴向屈曲情况

所示。在 Select Deformation Result 选项中选择 Eigenvectors, Translational 选项，单击 Apply，则显示出其径向的屈曲情况，如图 12-11 所示。其他各阶情况均可得到，这里不再赘述。

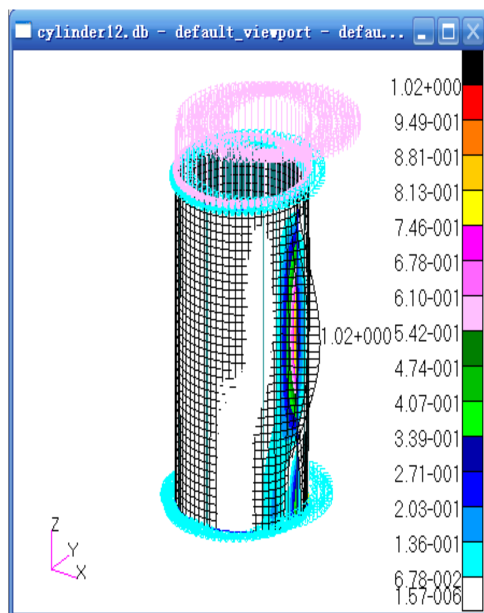


图 12-11　径向屈曲情况

（3）结果分析。前两阶屈曲因子相同，而屈曲模式在形状上相同，都呈现 4 个波的周向屈曲，在轴向位置上略有差别，第三和第四阶呈轴向屈曲模式。

轴向第一阶屈曲载荷的理论计算值为：

$$P = \frac{Eh^2}{r\sqrt{3(1-\nu^2)}} = \frac{2.0\times10^5\times6.35^2}{2540\sqrt{3\times(1-0.3^2)}} = 1922\text{N/mm}$$

Nastran 的计算结果为(屈曲因子与施加的静态载荷的乘积)：

$$N = 10\times193.22 = 1932.2\text{N/mm}$$

误差：$\delta = \dfrac{1932.2-1922}{1922} = 0.53\%$

12.3 板屈曲分析实例

本例分析对象为受压板，线性屈曲分析通过提取使线性系统刚度阵奇异的特征值来获取结构的临界失稳载荷及对应的模态。线性屈曲分析通常忽略了各种非线性因素和初始缺陷对屈曲失稳载荷的影响，对屈曲问题大大简化，从而提高了分析求解效率；由于未考虑非线性和初始缺陷的影响，得到的失稳载荷可能与实际的相差较大。在随书光盘的如下文

件夹中可以找到本实例完成后的文件。

（1）Patran 模型数据库文件(.db)\buckling.db

（2）bdf 文件和结果文件：\buckling.bdf

12.3.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击菜单栏 File/New，输入数据库文件名 buckling.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code= Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

12.3.2 创建几何与网格模型

（1）点击菜单栏上的 Geometry 按钮，打开如图 12-12 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Surface，Method=XYZ，

（2）如图 12-12 所示，在 Vector Coordinate List 文本框中输入<20 8 0>，点击 Apply 按钮生成平板模型。

（3）点击菜单栏上的 Meshing 按钮，打开如图 12-13 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Surface。在页面中部依次设置 Elem Shape=Quad，Mesher=IsoMesh，Topology=Quad4，在 Surface List 文本框中选择长方形面，勾选取消 Automatic Calculation 选项，在 Vaule 文本框中输入数值 2.0，点击 Apply 按钮生成网格模型。

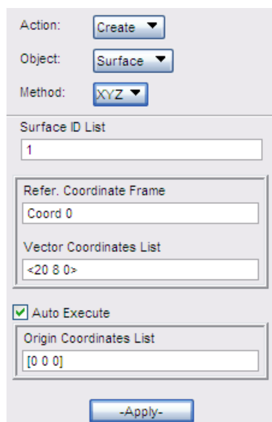


图 12-12　Geometry 页面

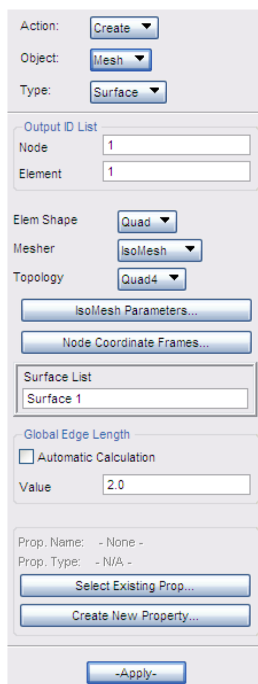


图 12-13　Finite Elemets 页面

12.3.3 定义材料本构关系

（1）点击菜单栏 Properties 下的 Isotropic 按钮，打开如图 12-14 所示的 Materials 页面，依次设置 Action=Create， Object=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 12-14 所示，在 Material Name 文本框中输入 alum。

（3）如图 12-14 所示，点击 Input Properties 按钮，打开如图 12-15 所示的 Input Options 页面，在 Elastic Modulus 文本框输入数值 2.9e7，Possion Ratio 文本框输入数值 0.3，点击 OK 按钮退出页面。



技巧提示

同模态分析不同，屈曲分析的几何刚度阵形成无需材料密度值。

（4）如图 12-14 所示，点击 Apply 按钮，完成材料定义。

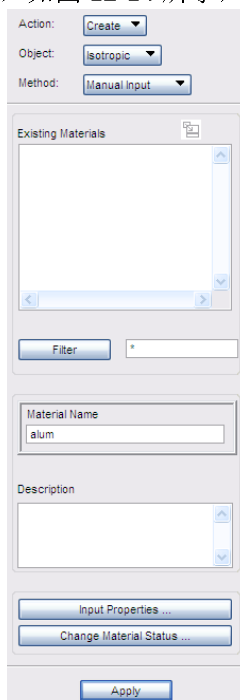


图 12-14 Materials 页面

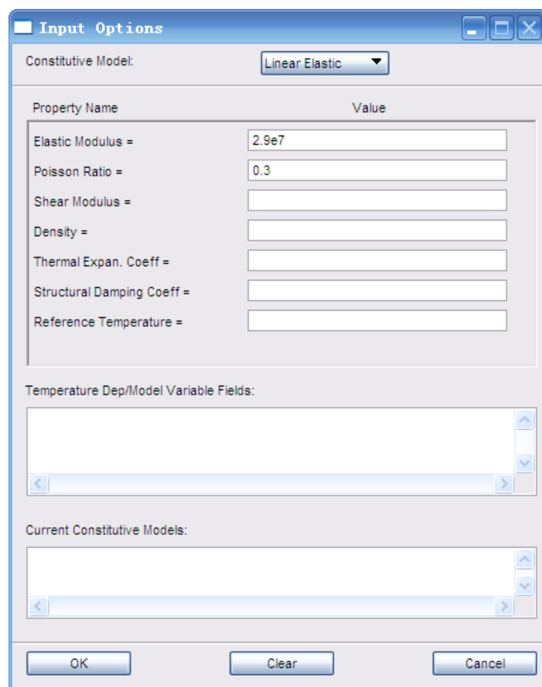


图 12-15 Input Options 页面

12.3.4 定义单元属性

（1）点击菜单栏上的 Properties 按钮，打开如图 12-16 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=2D，Type=Shell。

（2）如图 12-16 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 plate。

（3）如图 12-16 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 12-17 所示的 Input Properties，在 Material Name 文本框中选择 alum，在 Thickness 文本框中输入数值 0.01，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 12-16 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 12-18 所示的 Select Application Region 页面，在 Select Members 文本框中选择 Surface 1，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 12-16 所示，点击 Apply 按钮，完成单元属性定义。

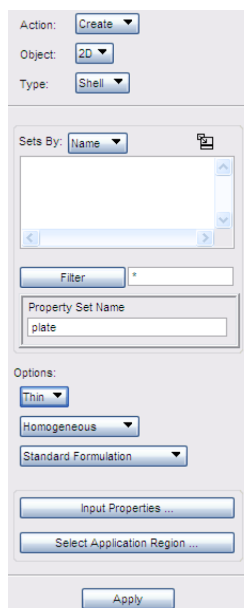


图 12-16　Element Properties 页面

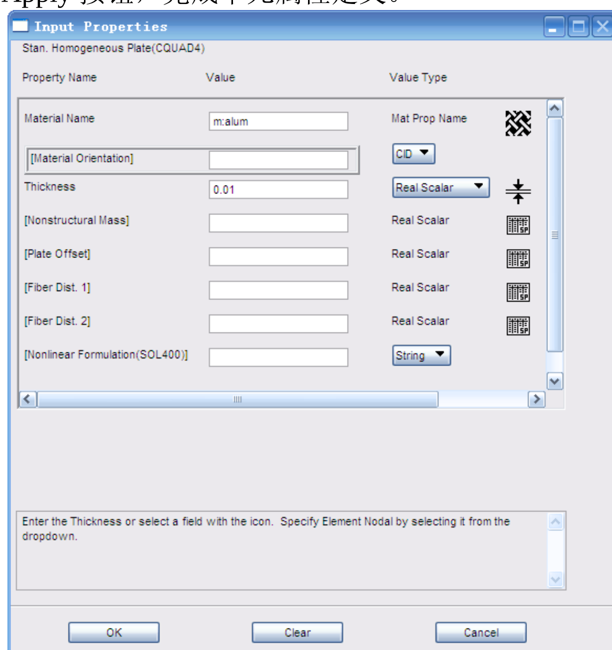


图 12-17　Input Properties 页面

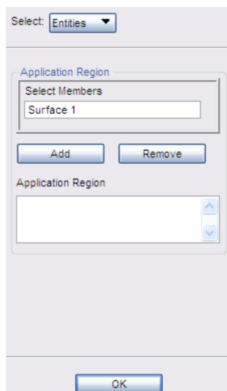


图 12-18　Select Application Region 页面

12.3.5 定义位移边界条件

该受压板单边为全约束。

（1）点击工具栏上的 Load/BCs 按钮，打开如图 12-19 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Type=Nodal。

（2）如图 12-19 所示，在 New Set Nmae 文本框中输入 simply_supported_left。

（3）如图 12-19 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 12-20 所示的 Input Data 页

面，在 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<0 0 0>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 12-19 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 12-21 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中选择左边线上的全部节点，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）采用相同的方法，定义 New Set Nmae 为 support_vertical_bottom，Translations<T1 T2 T3>为<,,0>，选择下边线全部节点生成位移约束条件。

（6）采用相同的方法，定义 New Set Nmae 为 support_vertical_top，Translations<T1 T2 T3>为<,,0>，选择上边线全部节点生成位移约束条件。

（7）采用相同的方法，定义 New Set Nmae 为 support_rollers_rig，Translations<T1 T2 T3>为<,0,0>，选择右边线全部节点生成位移约束条件，得到如图 12-22 所示的平板有限元模型。

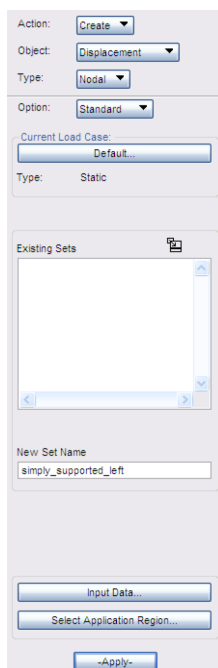


图 12-19　Load/Boundary Conditions

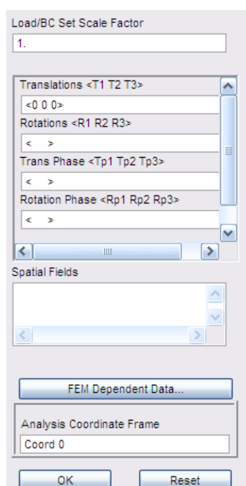


图 12-20　Input Data 页面

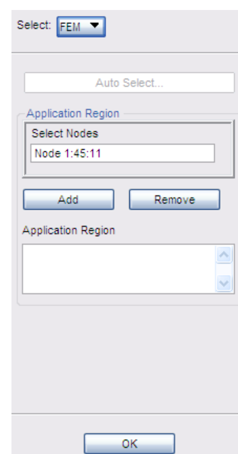


图 12-21　Select Application Region 页面

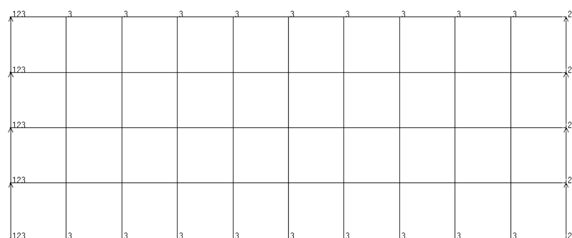


图 12-22　位移约束下的有限元模型

12.3.6 定义载荷边界条件

本节将定义平板受压载荷。

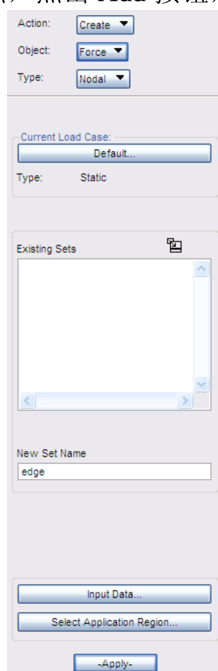
（1）在如图 12-23 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，重新依次设置

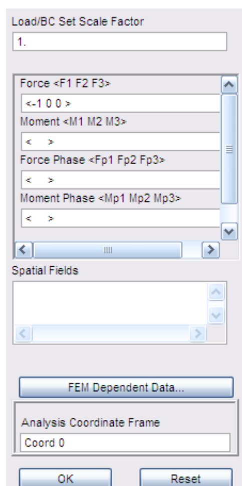
Action=Create，Object=Force，Type=Nodal。

（2）如图 12-23 所示，在 New Set Name 文本框中输入 edge。

（3）如图 12-23 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 12-24 所示的 Input Data 页面，在 Force<F1 F2 F3>文本框中输入数值<-1 0 0>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 12-23 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 12-25 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中选择右下和右上节点，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面





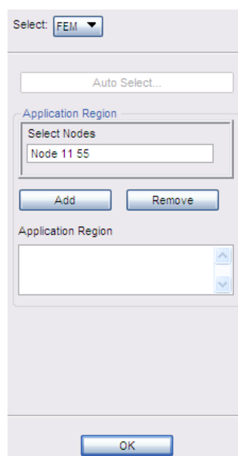


图 12-23　Load/Boundary Conditions　　图 12-24　Input Data 页面　图 12-25　Select Application Region 页面

（5）如图 12-23 所示，点击 Apply 按钮，生成载荷边界条件。

（6）采用相同的方法，定义 New Set Nmae 为 middle，Force<F1 F2 F3>为<-2 0 0>，选择右边线中部三个节点，得到如图 12-26 所示的有限元模型。

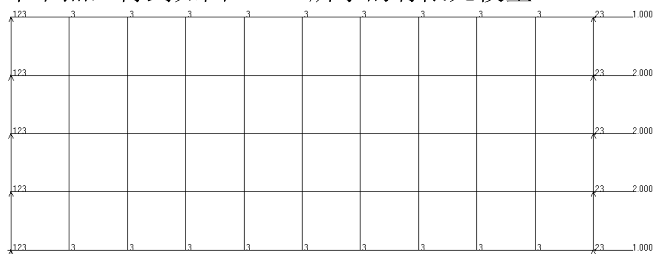


图 12-26　受压平板的有限元模型

12.3.7 提交分析作业

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 12-27 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 12-27 所示，点击 Solution Type…按钮，打开如图 12-28 所示的 Slution Type 页面，选择 BUCKLING 选项，注意到 Solution Sequence:105，表示线性屈曲分析的序列号为 105。

（3）如图 12-28 所示，点击 Solution Parameters…按钮，打开如图 12-29 所示的 Solution Parameters 页面。

（4）如图 12-29 所示，点击 Eigenvalue Extraction…按钮，打开如图 12-30 所示的 Eigenvalue Extraction 页面。在 Numer of Desired Roots 文本框中输入数值 5，连续三次点击 OK 按钮，返回 Analysis 页面。

提示：这里提取前 5 阶线性屈曲模态结果。

（5）如图 12-27 所示，点击 Apply 按钮，在 Patran 默认目录下生成 bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

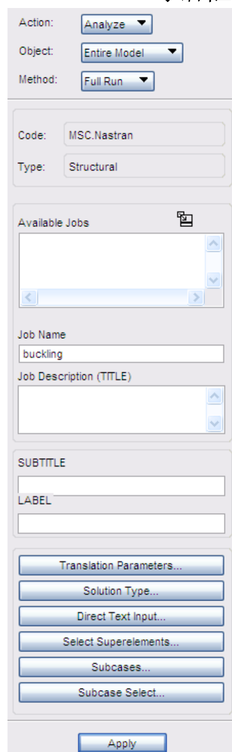


图 12-27 Analysis 页面

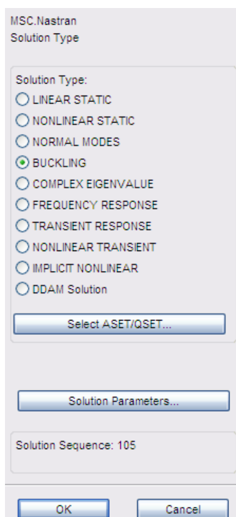


图 12-28 Solution Type 页面

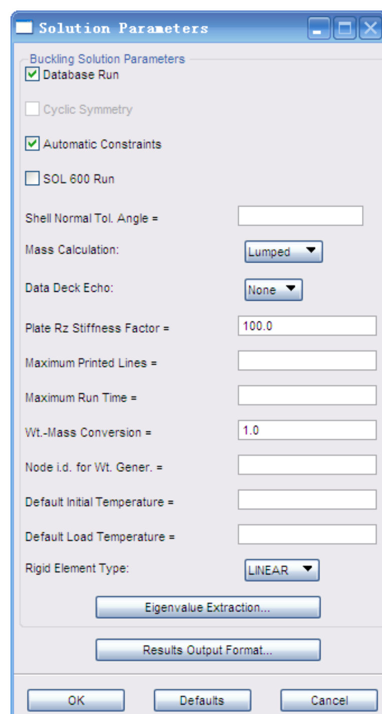


图 12-29 Solution Parameters 页面

12.3.8 结果后处理

（1）计算完毕后，在如图 12-31 所示的 Analysis 页面中，重新依次设置 Action=Access Results，Objective=Attach XDB，Method=Result Entities。

（2）如图 12-31 所示，点击 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

（3）点击工具栏上的 Results 按钮，打开如图 12-32 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick Plot。

（4）如图 12-32 所示，在 Select Result Case 列表中选择 Default,A1: Mode1: Facor=1.7176，在 Select Fringe Result 列表中选择 Eigenvectors, Translational，设置

Quantity=Magnitude 在 Select Deformation Result 列表中选择 Eigenvectors, Translational。点击 Apply 按钮，得到如图 12-33 所示的一阶屈曲模态振型。



技巧提示

在 Select Result Cases 列表中，第一项 Default，A1: Static Subcase 为静力分析结果。线性屈曲分析过程，首先进行结构的静力分析，得到几何刚度阵，在此基础上，进行特征值方程的求解。通常情况下，线性屈曲分析较为关心的是低阶特征值结果，特征值含义表示临界载荷的倍数因子。

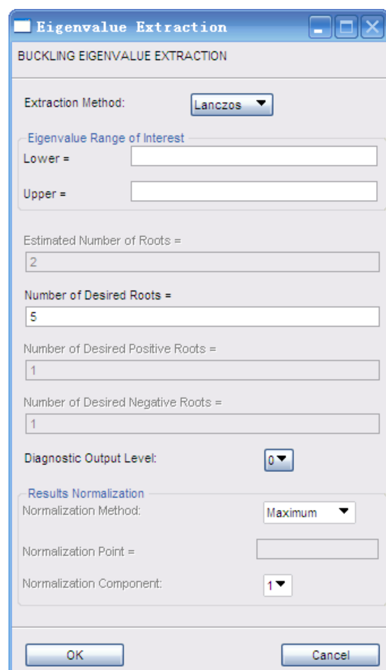


图 12-30　Eigenvalue Extraction 页面

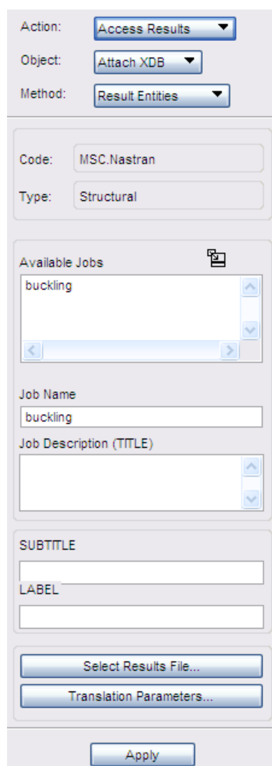


图 12-31　Analysis 页面

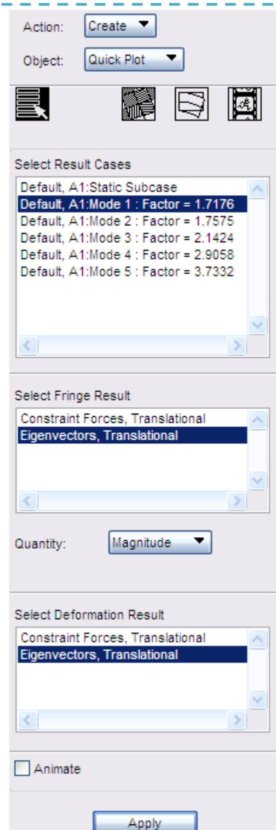


图 12-32　Results 页面

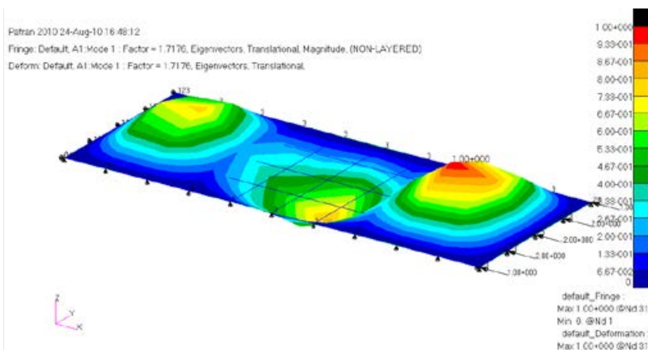


图 12-33　一阶屈曲模态振型

第 13 章　模态分析

内容导航



模态分析是用来确定结构的振动特性的一种技术，通过它可以确定自然频率、振型和振型参与系数。进行模态分析有许多好处：可以使结构设计避免共振或以特定频率进行振动；使工程师认识到结构对于不同类型的动力载荷是如何响应的；有助于在其他动力分析中估算求解控制参数。

通过本章的学习，读者可以了解使用 Patran 和 Nastran 进行模态分析的分析流程以及各参数的设置，完整深入掌握模态分析的功能和方法。

重点剖析

* 模态分析概述
* 板模态分析实例
* 塔模态分析实例

13.1　模态分析及其步骤

模态分析是用来求解结构的自然频率和振型，模态分析可以计算正则化模态节点位移，约束力和正则化的单元力和应力，并可同时考虑刚体模态，考虑拉伸刚化效应的非线性特征模态分析等。模态分析的步骤如下：

（1）创建或者读入几何模型。

（2）划分有限元网格。

（3）创建边界条件。

（4）创建材料属性。

（5）创建单元属性。

（6）定义模态分析类型。

（7）分析求解。

（8）查看求解结果。

13.2　翼板的模态分析

如图 13-1 所示为一翼板示意图，其材料属性如下：弹性模量为 20e10，泊松比为 0.3，

密度为 7800kg/m^3，该翼板一端固定。分析问题求解过程如下。

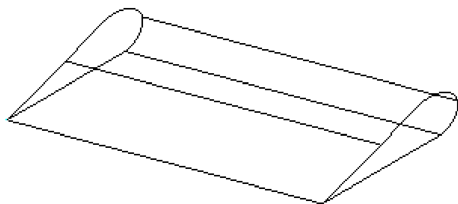


图 13-1　几何模型示意图

13.2.1 建立模型的文件名

单击图标，或菜单 File>New，输入文件名 modal，单击 OK 按钮。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Structural。

13.2.2 建立模型

单击 Geometry，Create>Point>XYZ，在 Point Coordinates List 中依次收入[0 0 0]，[2 0 0]，[2.3 0.2 0]，[1.9 0.45 0]，[1 0.25 0]以建立 5 个点。Create>Curve>Point，Option: 2 Point，Point 1 和 Pont 2 以及 Point 1 和 Point 5 建立两条直线。Create>Curve>Spline，Option: B-Spline，B-Spline Parameters 选择 4，Order 选择 Interpolation，在 Point List 中输入：Point 2:5，单击 Apply 建立样条曲线。Creat>Surface>Edge, Option: 3 Edge，依次选择曲线 1,3,2 单击 Apply 建立横截面。Create>Solid>Extrude，在 Translation Vector 中输入<0 0 10>，单击 Apply 建立立体模型。选择菜单 File>Import，Object>Model，Source>IGES，选择 Modal.igs，如图 13-2 所示。单击 Apply，Patran 弹出文件输入报告，输入的模型如图 13-3 所示。

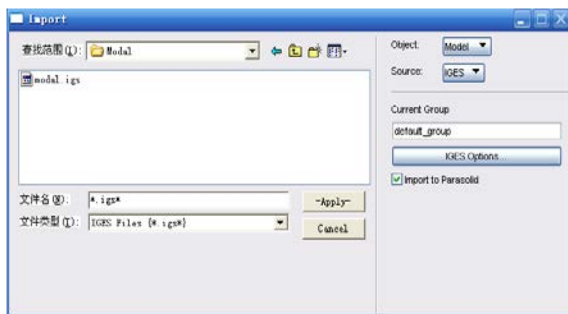


图 13-2　输入模型文件

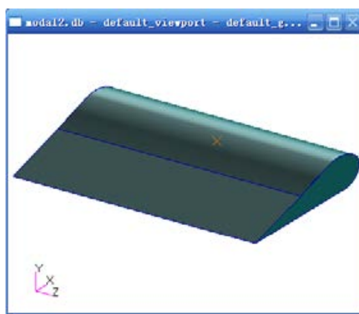


图 13-3　输入的模型

13.2.3 划分有限元网格

单击 ***Meshing*** 应用工具按钮，开始创建有限元模型，单击 Meshers 下的图标（Create>Mesh>Solid），Elem Shape 选择 Tet，Mesher 选择 TetMesh，Topology 选择 Tet10，

在 Input List 中，选择实体 Solid1，在 Global Edge Length 框中，输入 Value 值为 0.2，单击 Apply，完成划分有限元网格，创建完成的有限元网格模型如图 13-4 所示。

13.2.4 设置边界条件

单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮，单击图标（Create>Displacements>Nodal）。在 New Set Name 选项中输入 SPC，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>和 Rotations<R1 R2 R3>输入框中，输入<0 0 0>,单击 OK。单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选中模型的一侧面的所有节点，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。施加边界条件的有限元模型如图 13-5 所示。

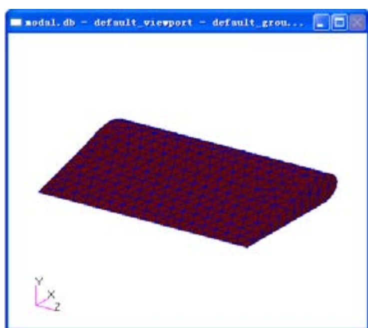


图 13-4 划分网格后的模型

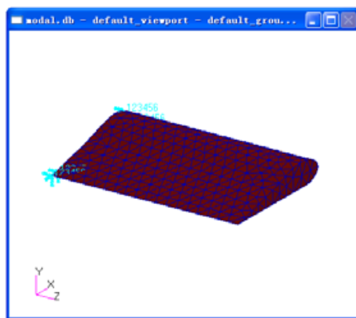


图 13-5 施加边界条件后的模型

13.2.5 定义材料属性

单击 ***Materials*** 应用工具按钮下的图标，（Create>Isotropic>Manual Input），Material Name:elastic，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Elastic Modulus 中输入 20e10，在 Poisson Ratio 中输入 0.3，在 Density 中输入 7.8e3，单击 OK、Apply，完成材料的创建。

13.2.6 定义单元属性

单击 ***Properties*** 应用工具按钮的 Solid 图标（Action>3D>Solid），在 Property Set Name 中输入 Solid，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 Elastic，单击 OK；在 Application Region 选项框，选择视图中所有的实体单元，点击 Add、Apply，完成定义单元属性。

13.2.7 进行分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮下的图标（Analyze>Entire Model>Full Run），打开

Solution Type 按钮，选择求解类型为 Normal MODES，单击 OK、Apply。弹出 Natran 计算对话框，开始计算求解。

13.2.8 查看分析结果

（1）读取计算结果。单击 ***Analysis*** 应用工具按钮 Access Results 下图标（Action>Access Results，Object>Attach XDB，Method>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 modal.XDB，单击 OK、Apply。

（2）显示模态云图。单击 ***Results*** 应用工具按钮，Create>Quick plot，单击图标，在 Select Result Cases 选择 Default, A1: Mode 1: Freq.=22.9515，在 Select Fringe Result 中选择 Eigenvectors Translational，Quantity 选项中选择 Magnitude，单击 Apply 按钮，翼板第一阶模态的云图就显示出来了，如图 13-6 所示。

（3）显示模态变形图。Create>Quick plot，在 Select Result Cases 选择 Default, A1: Mode 2: Freq.=83.12，在 Select Deformation Result 中选择 Eigenvectors Translational，单击 Apply 按钮，翼板第二阶模态的变形图就显示出来了，如图 13-7 所示。

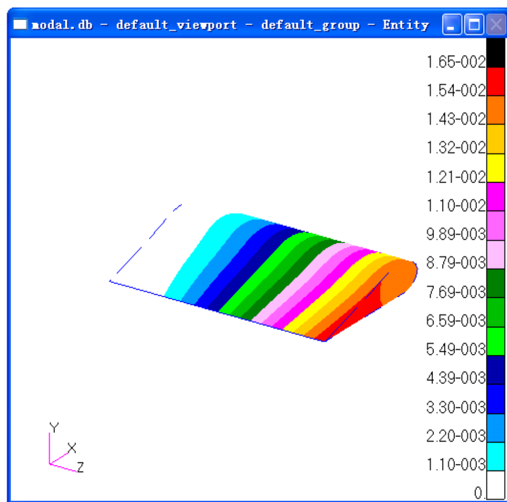


图 13-6　一阶模态云图

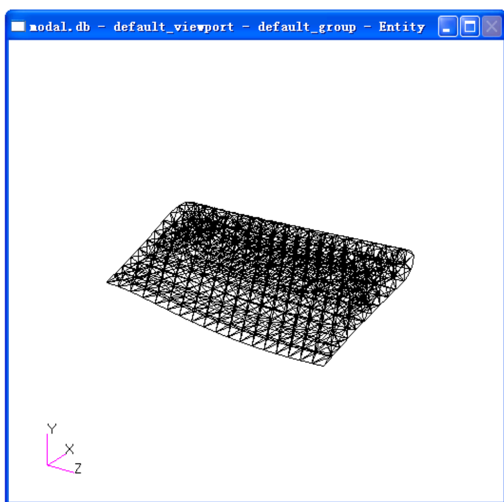


图 13-7　二阶模态的变形图

（4）同时显示模态云图及变形图，并进行模态的动画演示。Create>Quick plot，在 Select Result Cases 选择 Default, A1: Mode 6: Freq.=277.63，在 Select Fringe Result 中选择 Eigenvectors Translational，Quantity 选项中选择 Magnitude，在 Select Deformation Result 中选择 Eigenvectors Translational，选中 Animate，单击 Apply 按钮，此时翼板的第六阶模态的云图和变形图就以动画的形式显示出来了，其静止图形如图 13-8 所示。

13.3　有预应力竖板的模态分析

分析如图 13-9 所示，正方形铝板，其右侧和上部受到拉力的作用，左侧和底部受到约

束，试进行预应力作用下铝板的模态分析。分析问题求解过程如下。

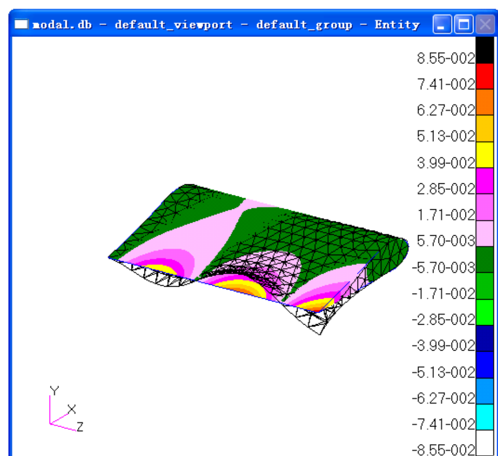


图 13-8　以动画显示云图及变形图

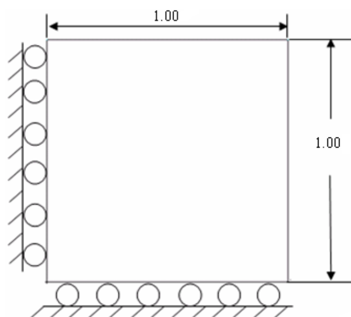


图 13-9　几何模型和边界条件

13.3.1 创建一个数据文件

直接单击按钮，或选择菜单 File>New，输入文件名 preload，单击 OK 按钮。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Structural，单击 OK 确认。

13.3.2 创建几何模型

单击 ***Geometry*** 选项卡，单击 Surfaces 下的图标 XYZ （Action>Create，Object>Surface，Method>XYZ），在 Vector Coordinates List 中输入<1,1,0>，如图 13-10 所示，单击 Apply 按钮，生成平面模型，如图 13-11 所示。

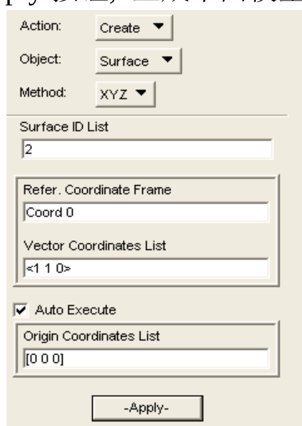


图 13-10　创建平面

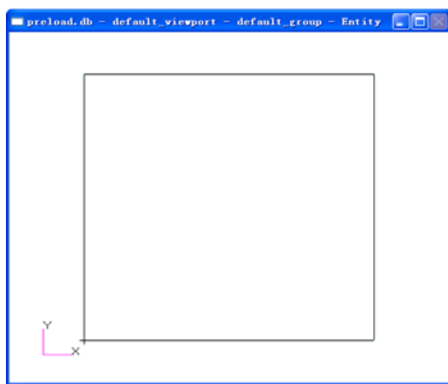


图 13-11　生成的平面模型

13.3.3 划分有限元网格

单击 ***Meshing*** 选项卡，划分有限元网格，单击 Meshers 下的图标 （Action>Create，Object>Mesh，Type>Surface）， 在 Elem Shape 选择 Quad，Mesher 选择 IsoMesh，Topology 选择 Quad4，在 Surface List 中，选择实体 Surface1，不选择 Automatic Calculation，在 Global Edge Length 框中，输入 Value 值为 0.1，如图 13-12 所示，单击 Apply，完成划分有限元网格，创建完成的有限元网格模型如图 13-13 所示。

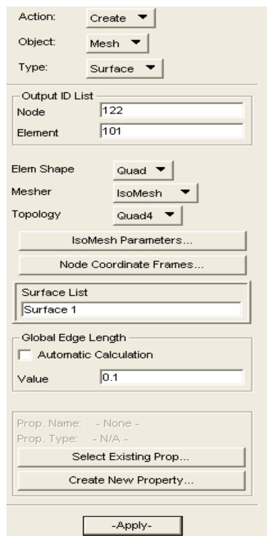


图 13-12　划分网格设置

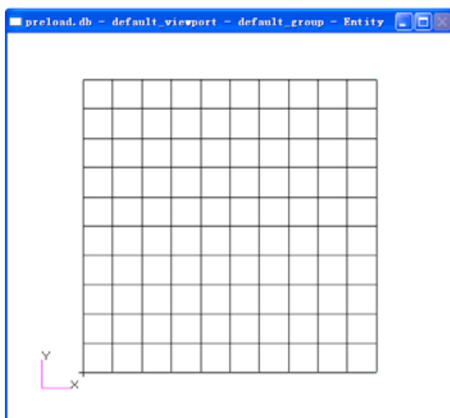


图 13-13　生成的有限元网格模型

13.3.4 设置边界条件及载荷

（1）创建模型底部的约束。单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮，单击图标 （Action>Create, Object>Displacements, Type>Nodal）。在 New Set Name 选项中输入 bottom，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>输入框中输入< ,0,0>，在 Rotations<R1 R2 R3>输入框中输入<0 , ,>，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选中模型底部一排的节点 Node 1:11，如图 13-14 所示，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成底部位移边界条件的创建。

（2）创建模型左侧的约束。单击图标 （Action>Create，Object>Displacements，Type>Nodal）。在 New Set Name 选项中输入 left，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>输入框中输入<0, ,0 >，在 Rotations<R1 R2 R3>输入框中输入< ,0, >，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选中模型最左侧一排的节点 Node 1:111:11，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成底部位移边界条件的创建。

（3）创建模型右侧的载荷。单击图标 （Action>Create，Object>Total Load，Type>

Element Uniform)。在 New Set Name 选项中输入 right，单击 Input data 按钮，如图 13-15 所示，在 Surf Load <F1 F2 F3>输入框中输入<1000,0,0>，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选中模型最右侧一排的单元 Elm10:100:10，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成右侧载荷的创建。

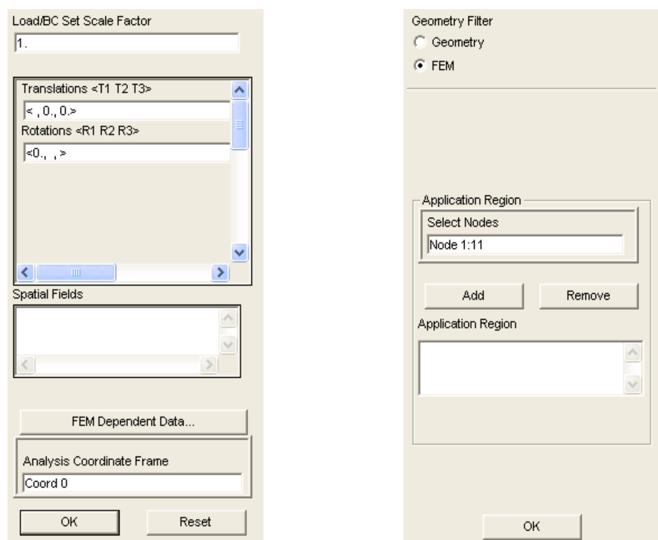


图 13-14　创建底部约束

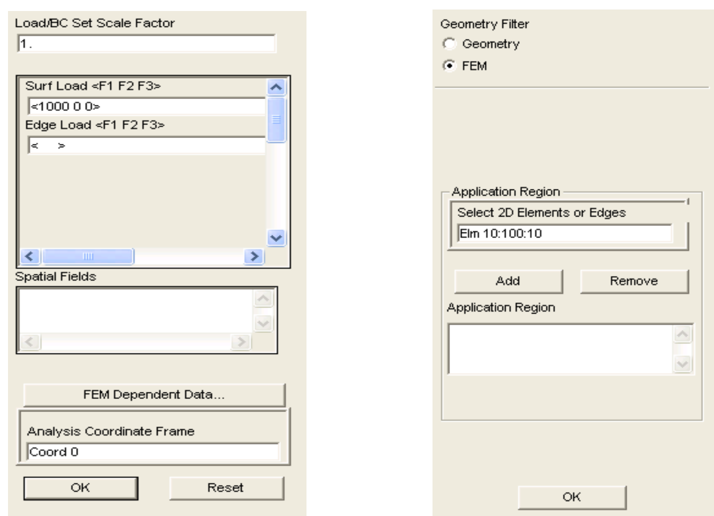


图 13-15　创建模型右侧的载荷

（4）创建模型上部的载荷。单击图标（Action>Create，Object>Total Load，Type>Element Uniform)。在 New Set Name 选项中输入 Top，单击 Input data 按钮，在 Surf Load <F1 F2 F3>输入框中输入<0,1000,0>，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选中模型最上部的一排单元 Elm 91:100，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成上部载荷的创建。创建位移边界条件和载荷后的有限元模型如图 13-16 所

示。

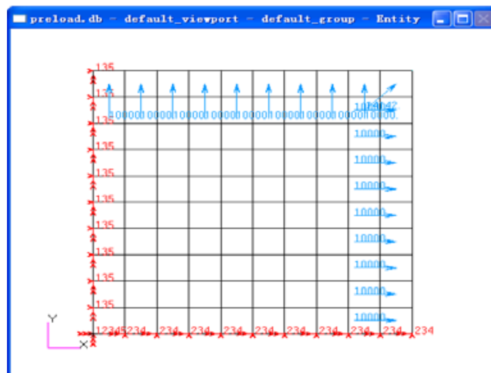


图 13-16　创建位移边界条件和载荷的模型

13.3.5 定义材料属性

单击 ***Properties*** 下的 Isotropic 应用工具按钮（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Manual Input），Material Name： mat1，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Elastic Modulus 中输入 10e6，在 Poisson Ratio 中输入 0.3，在 Density 中输入 0.101，如图 13-17 所示，单击 OK、Apply，完成材料的创建。

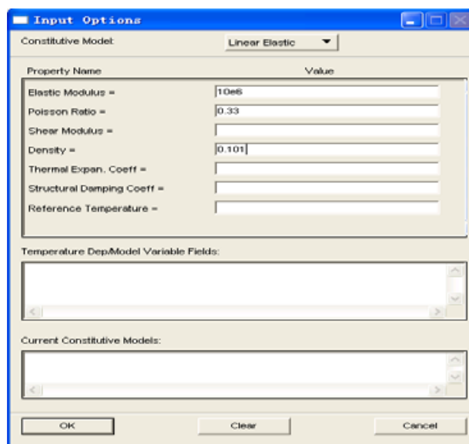


图 13-17　创建材料属性

13.3.6 定义单元属性

单击 ***Properties*** 应用工具按钮 2D Properties 下的图标（Action>Create，Object>2D，Type>Shell），在 Property Set Name 中输入 Shell，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 mat1，在 Thickness 中输入平板的厚度为 0.01625，单击 OK；在 Application Region 选项框中选择视图中 Surface1，点击 Add、Apply，完成定义单元属性。

13.3.7 进行分析

单击 ***Analysis*** 选项卡，单击图标（Analyze>Entire Model>Full Run），打开 Solution Type 按钮，选择求解类型为 NONLINEAR STATIC，如图 13-18 所示，单击 Solution Parameter 按钮，打开求解参数设置面板，Wt.-Mass Conversion 设置为 0.00259, 连续两次单击 OK 按钮返回。单击 Subcases 按钮，打开如图 13-19 所示的面板，在 Subcase Name 输入框中输入 preload，单击 Subcase Parameters 按钮，选择 Normal Modes，依次单击 OK、Apply、Cancel 按钮返回。单击 Subcase Select 按钮，单击 Subcase Select：中的 Default，将 Default 移动到 Subcases For Solution Sequence：106 中，单击 Subcases For Solution Sequence：106 中的 preload，将 preload 移动到 Subcase Select：中，如图 13-20 所示，单击 OK、Apply 按钮，弹出 Natran 计算对话框，开始计算求解。

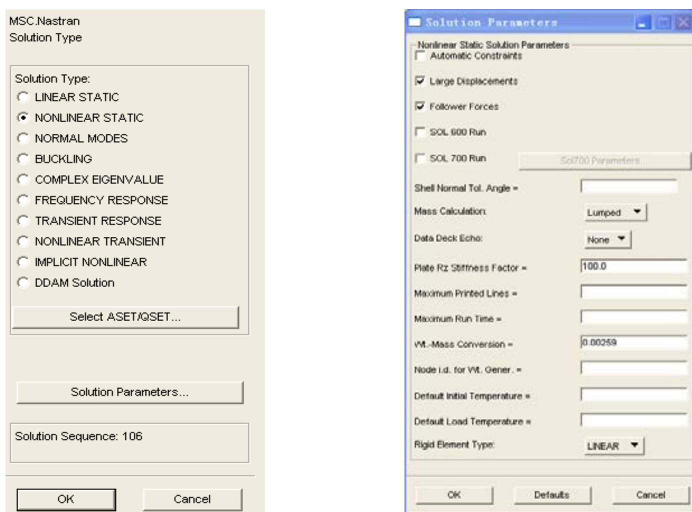


图 13-18　选择求解类型设置求解参数

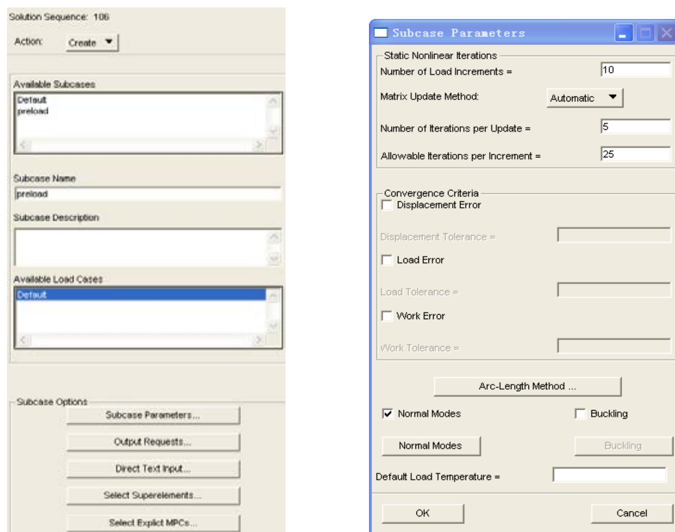


图 13-19　创建 Subcase

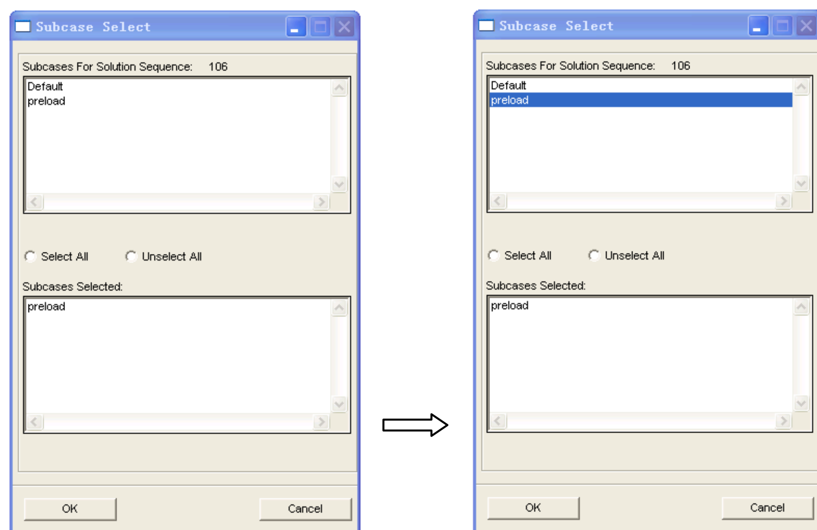


图 13-20　选择 Subcase

13.3.8 查看分析结果

（1）读取计算结果。在 ***Analysis*** 应用工具按钮 Access Results 下图标（Access Results >Attach XDB>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 preload.xdb，单击 OK、Apply 按钮。

（2）显示模态云图。单击 ***Results*** 选项卡，Create>Quick plot，单击图标，在 Select Result Cases 选择 Default, A1: Mode 1: Freq.=5735.3，在 Select Fringe Result 中选择 Eigenvectors Translational，Quantity 选项中选择 Magnitude，单击 Apply 按钮，翼板第一阶模态的云图就显示出来了，如图 13-21 所示。

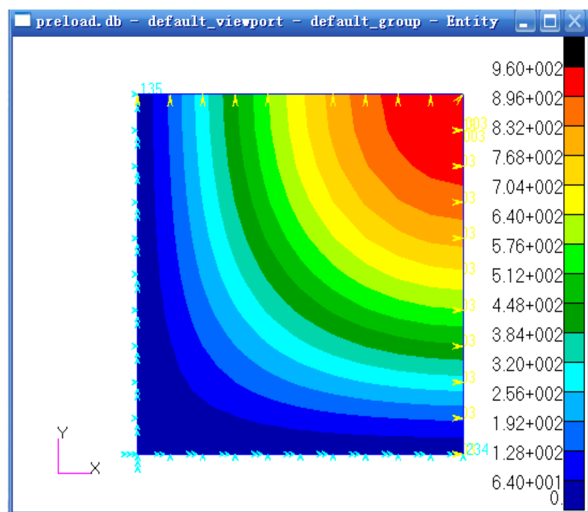


图 13-21　一阶模态云图

13.4　塔模态分析实例

本例采用 Lanczos 方法计算塔的前 10 阶固有频率和振型，其中塔底为全支撑，所采用的网格模型采用导入模型的方法进行处理。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\tower.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\tower.bdf。

13.4.1 创建数据库模型

本例将直接采用网格模型文件 enf111.bdf 建立网格模型。

（1）新建 Patran 空数据文件。点击菜单栏 File/New，输入数据库文件名 tower.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code= Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

（3）点击菜单栏 File/Import，如图 13-22 所示，设置 Object=Model，Source=Nastran，选择 enf111.bdf 文件，点击 Apply 按钮。出现如图 13-23 所示的 Nastran Input File Import Summary 文本框，文本框的主要内容包括节点、单元、坐标系、材料、单元属性等，点击 OK 按钮完成塔模型的导入。

（4）点击 Iso 3 view 图标和 Fit view 图标，得到如图 13-24 所示的塔网格模型。

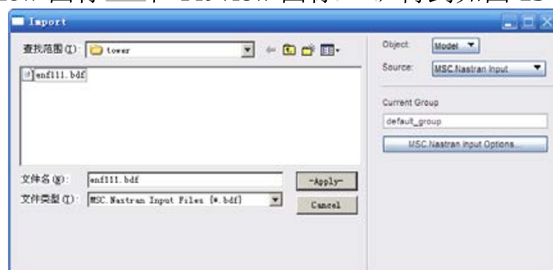


图 13-22　Import 对话框



	Imported	Imported with Warning	Not Imported
Nodes	425	0	0
Elements	484	0	0
Coordinate Frames	0	0	0
Materials	1	0	0
Element Properties	2	0	0
Load Sets	2	0	0
Load Cases	1	0	0
MPCs	1	0	0

图 13-23　Nastran Input File Import Summary 页面

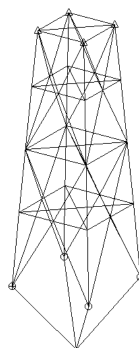


图 13-24　塔网格模型

13.4.2 分析求解设置

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 13-25 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Objective=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 13-25 所示，在 Job Name 文本框中输入 tower_normal_modes。

（3）如图 13-25 所示，点击 Solution Type…按钮，打开如图 13-26 所示的 Solution Type 页面，选择 NORMAL MODES 选项，注意在 Solution Sequence 中显示求解序列为 103。

（4）如图 13-26 所示，点击 Solution Parameters…按钮，打开如图 13-27 所示的 Solution Parameters 页面。在 Solution Parameters 页面中部，Wt.-Mass Conversion 右边的文本框中输入数值 1.0。连续点击两次 OK 退出 Solution Type 页面。

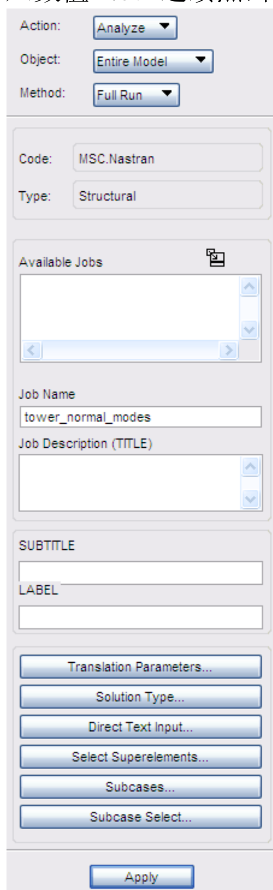


图 13-25　Analysis 页面

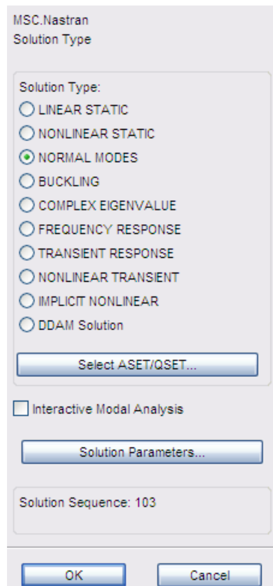


图 13-26　Solution Type 页面

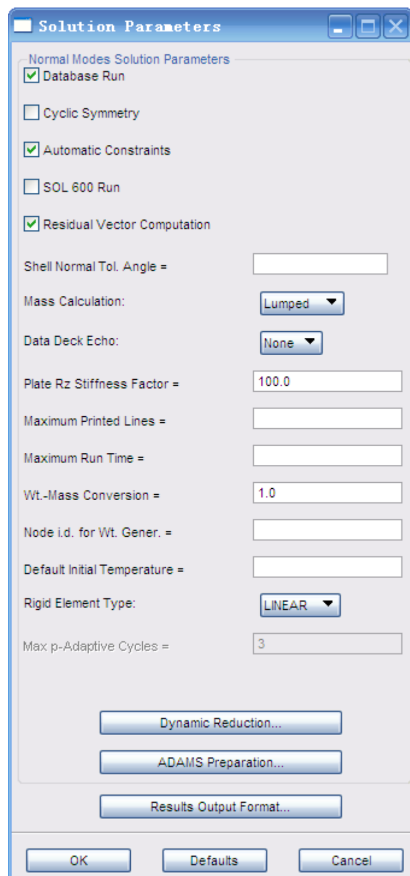


图 13-27　Solution Parameters 页面

（5）如图 13-25 所示，点击 Subcase Select…按钮，打开如图 13-28 所示的 Subcase Select 页面。在 Subcase Select 页面下部，选择 Default 按钮，使其不出现在 Subcases Selceted 列表中，选择 Untitled.SC1 使其出现在 Subcases Selceted 列表中，点击 OK 按钮完成设置。

（6）如图 13-25 所示，点击 Apply 按钮，在 Patran 默认目录下生成 bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择 tower_normal_modes.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。



技巧提示

有时候输入重量单位比输入质量单位更方便，此时需要将重量除以重力加速度 g 转换为质量。其数学表达式为 $\rho_m = \dfrac{\rho_w}{g}$，式中 ρ_m 为质量或质量密度，ρ_w 为重量或重量密度。

打开相应的 bdf 文件，可以在文件中找到卡片（即命令流）中关于 PARAM，WTMASS，factor 的内容，这些内容用来执行上述转换，factor 的值为 $1/g$，默认值为 1.0，即 MSC.Nastran 默认假定输入的是质量（或质量密度），而不是重量（或重量密度）。

13.4.3 结果后处理

（1）计算完毕后，在如图 13-29 所示的 Analysis 页面中，重新依次设置 Action=Access Results，Object=Attach XDB，Method=Result Entities。

（2）如图 13-30 所示，点击 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

（3）点击菜单栏 Results 命令，打开如图 13-30 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick。

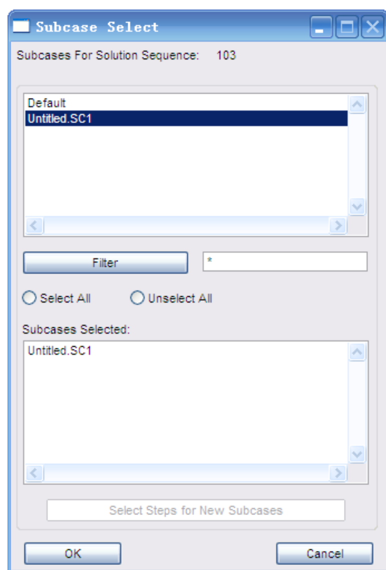


图 13-28　Subcase Select 页面

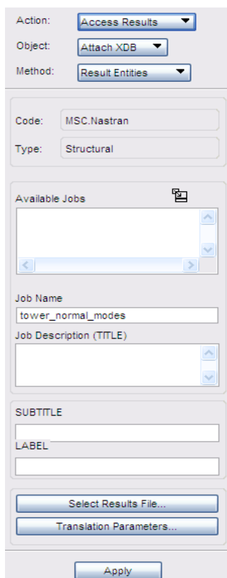


图 13-29　Anaslysis 页面

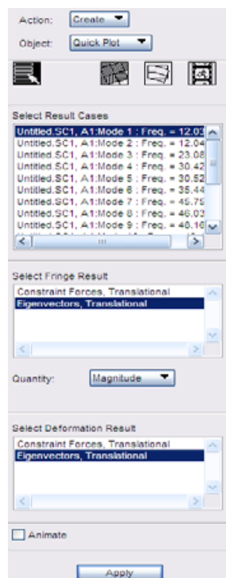


图 13-30　Results 页面

（4）如图 13-30 所示，在 Select Result Case 列表中选择 Unititled. SC1，A1:Mode1: Freq=13.039，在 Select Deformation Result 列表中选择 Eigenvectors, Translational，设置 Quantity=Magnitude。

（5）点击如图 13-30 所示的 Fringe Attributes 按钮，在如图 13-31 所示的页面中，勾选取消 Show Viewport Legend，Show Title，Show Max/Min Lable 两个选项。

（6）点击如图 13-31 所示的 Deform Attributes 按钮，在如图 13-32 所示的页面中，勾选取消 Show Viewport Legend，Show Undeformed，Show Title，Show Maximum Lable 选项。点击 Apply 按钮得到如图 13-33 所示的一阶振型。

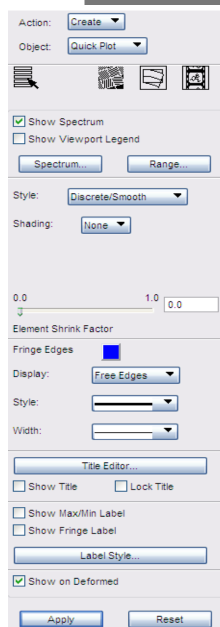


图 13-31　Results 页面

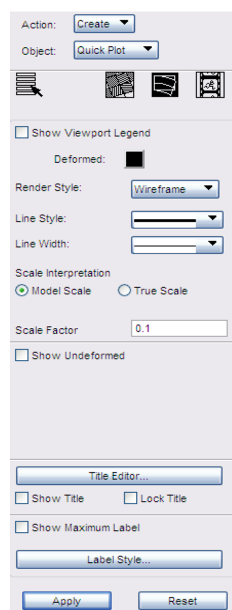


图 13-32　Results 页面

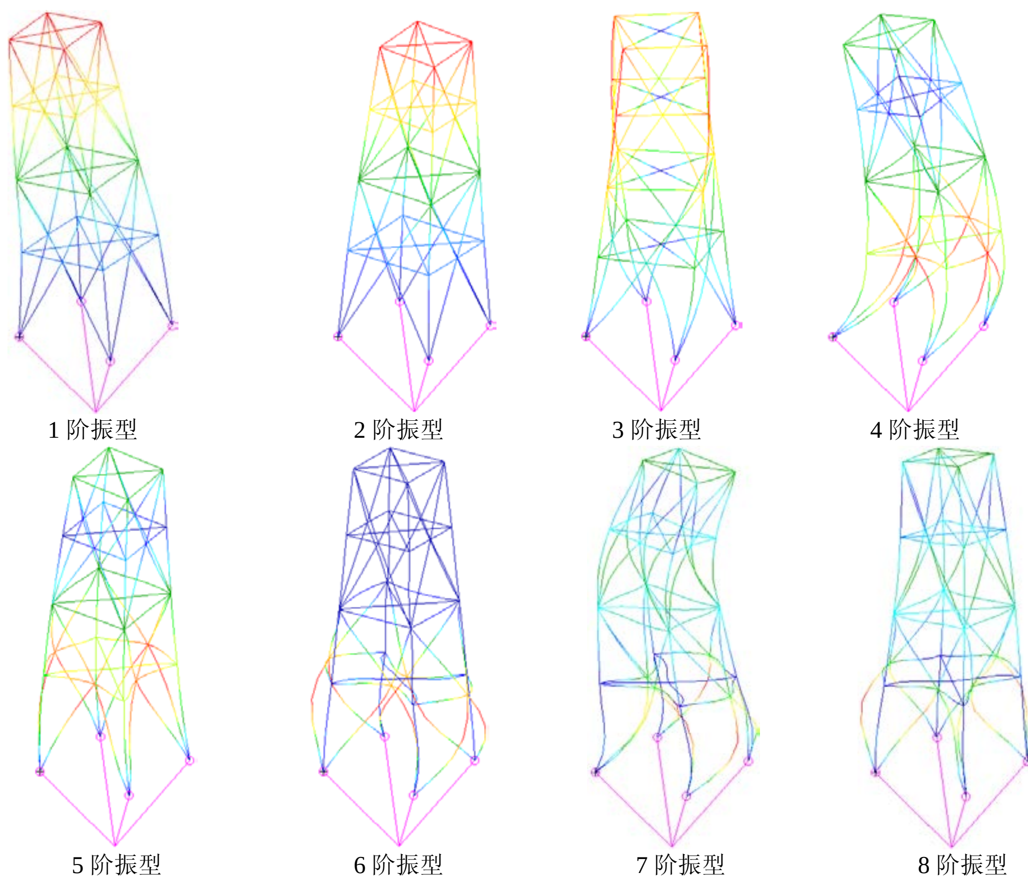


图 13-33　塔的各阶振型图

（7）采用类似的方法，得到其余各阶振型图，各阶模态对应的频率值和振型描述如表 13-1 所示。

表 13-1 塔的模态分析结果

阶次	频率(Hz)	振型描述
1	13.039	垂直弯曲
2	13.049	垂直弯曲
3	23.082	扭转
4	30.426	-
5	30.525	-
6	35.447	-
7	45.751	-
8	413.039	-
9	48.165	-
10	49.424	-

13.5 柔性地基的塔模态分析实例

本例将在塔模态分析的基础上，增加柔性地基，重新分析柔性地基塔的频率和模态振型，并同刚性地基塔的分析结果进行对比。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\tower_soft_ground.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\tower_soft_ground.bdf。

13.5.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击菜单栏 File/New，输入数据库文件名 tower _soft_ground.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code= Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

（3）点击菜单栏 File/Import，在 Source 下拉菜单中选择 MSC.Nastran Input 选项，选择 enf111.bdf 文件，点击 Apply 按钮。出现 Nastran Input File Import Summary 文本框，文本框包括节点、单元、坐标系、材料、单元属性等。点击 OK 按钮完成塔模型的导入。

13.5.2 建立柔性地基

（1）点击工具栏上的 Meshing 按钮，打开如图 13-34 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Transform，Object=Node，Method=Translate。

（2）如图 13-34 所示，在 Direction Vector 文本框中输入<0,0,-0.5>，确认 Repeat Count 文本框中的数值为 1。在页面下部的 Node List 文本框中选择塔基的 4 个角节点，点击 Apply 按钮生成 4 个新的节点。

（3）点击 Node Size 按钮，以在图形区内显示节点。

（4）如图 13-35 所示，重新依次设置 Action=Modify，Object=MPC，在 MPC ID 文本框中选择塔基下部的 MPC 单元。

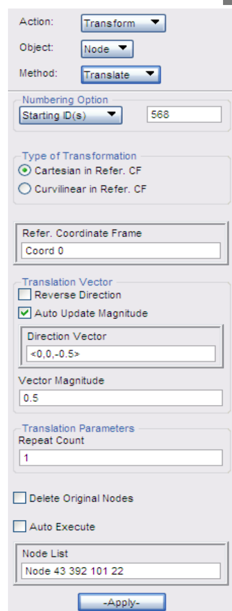


图 13-34　Finite Elements 页面

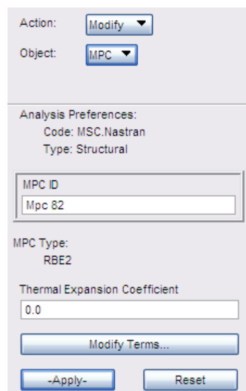


图 13-35　Finite Elements 页面

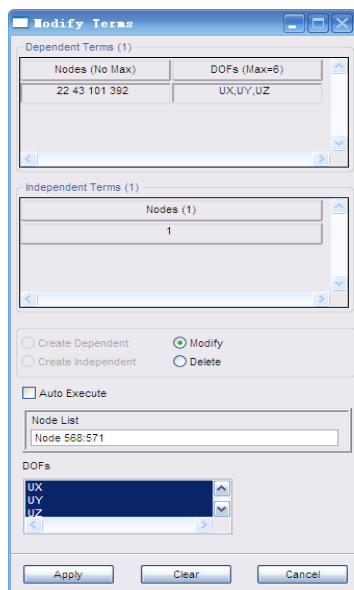


图 13-36　Modify Terms 页面

（5）如图 13-35 所示，点击 Modify Term…按钮，打开如图 13-36 所示的 Modify Terms 页面，点击 Nodes (No Max)，在页面中部选择 Modify 选项，勾选取消 Auto Execte 选项，在 Node List 文本框中，选择上述步骤生成的节点。点击 Apply 按钮完成修改，点击 Cancel 按钮退出页面。

（6）如图 13-36 所示，点击 Apply 按钮以完成修改设置。

（7）在如图 13-37 所示的 Finite Elements 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Element，Method=Edit。

（8）如图 13-37 所示，在页面中部依次设置 Shape=Bar，Topology=Bar2。勾选取消 Use existing midnodes 和 Auto Execute 两选项，在 Node 1 和 Node 2 文本框中，依次选择原有地基角节点和新生成的节点，点击 Apply 按钮生成新的单元。

（9）重复上述步骤，一共生成 4 个单元，得到如图 13-38 所示的局部有限元模型。

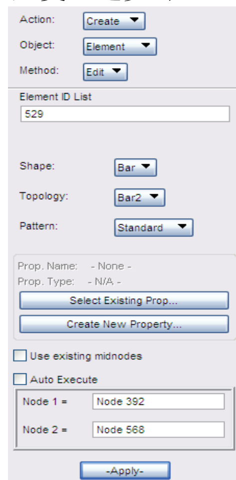


图 13-37　Finite Elements 页面

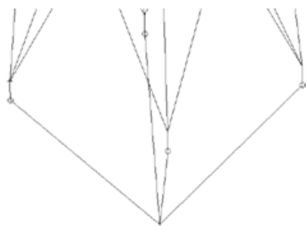


图 13-38　局部地基图

13.5.3 定义单元属性

本节定义弹簧单元属性作为地基属性，其值包括线性弹簧刚度值。

（1）点击工具栏上的 Properties 按钮，打开如图 13-39 所示的 Element Poperties 页面，依次设置 Acition=Create，Object=1D，Type=Bush。

（2）如图 13-39 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 ground。

（3）如图 13-39 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 13-40 所示的 Input Properties 页面，在[Bush Orientation]文本框中输入<-1 0 0>，在[Spring Constant 1]至[Spring Constant 3]文本框中输入数值 1e8，在[Spring Constant 4]至[Spring Constant 6] 文本框中输入数值 1e7，点击 OK 按钮退出页面。



技巧提示

Bush Orientation 表示弹簧作用的方向，Spring Constant 表示弹簧刚度值。

（4）如图 13-39 所示，点击 Select Application Region…按钮，在 Select Members 文本框中，选择梁单元图标，并选择上述步骤生成的 4 个单元。点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 完成设置。

（5）如图 13-39 所示，点击 Apply 按钮以生成 ground 单元属性。

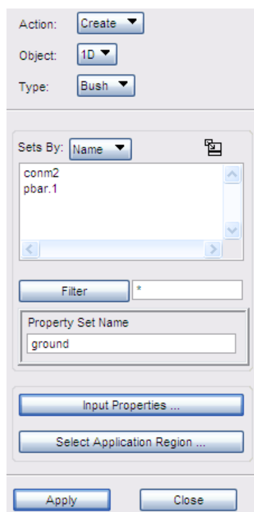


图 13-39　Element Properties 页面

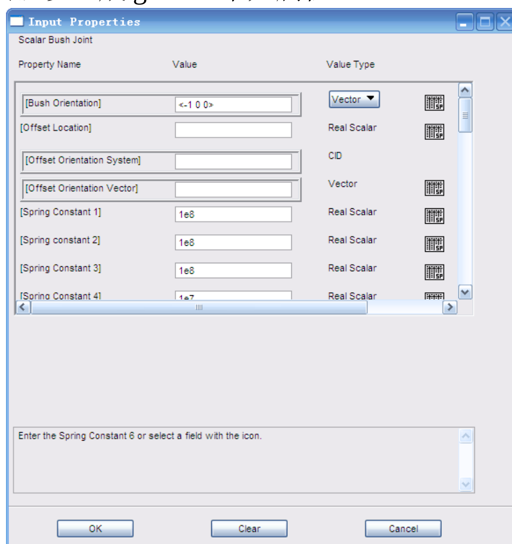


图 13-40　Input Properties 页面

13.5.4 分析求解设置

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 13-41 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Objective=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 13-41 所示，在 Job Name 文本框中输入 tower_nm_ground。

（3）如图 13-41 所示，点击 Solution Type…按钮，打开 Solution Type 页面，选择 NORMAL MODES 选项，注意在 Solution Sequence 中显示求解序列为 103。

（4）点击 Solution Parameters…按钮，打开如图 13-42 所示的 Solution Parameters 页面，在 Wt.-Mass Conversion 右边的文本框中输入数值 1.0。连续点击两次 OK 按钮退出 Solution Type 页面。

（5）如图 13-41 所示，点击 Subcase…按钮，打开如图 13-43 所示的 Subcases 页面，在 Available Subcases 列表中选择 Untitled.SC1 工况，点击 Subcase Parameters…按钮，打开如图 13-44 所示的 Subcase Parameters 页面，设置 Lower=0.01。点击 OK 按钮完成子工况参数设置。



技巧提示

由于预估地基的模态频率值大于 0.01Hz，故而可以设置下限值。

（6）如图 13-43 所示，点击 Apply 按钮使工况参数生效，然后点击 Cancel 按钮退出子工况定义。

（7）如图 13-41 所示，点击 Subcase Select…按钮，打开 Subcase Select 页面，在 Subcase Select 页面下部，选择 Default，使其不出现在 Subcases Selceted 列表中，选择 Untitled.SC1 使其出现在 Subcases Selceted 列表中，点击 OK 按钮完成设置。

（8）如图 13-41 所示，点击 Apply 按钮，在 Patran 默认目录下生成 bdf 文件。点击 MSC Nastran 2010 图标，在弹出的对话框中选择 tower_nm_ground.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

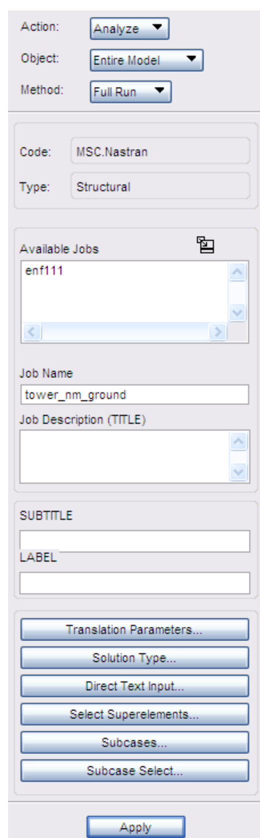


图 13-41 Analysis 页面

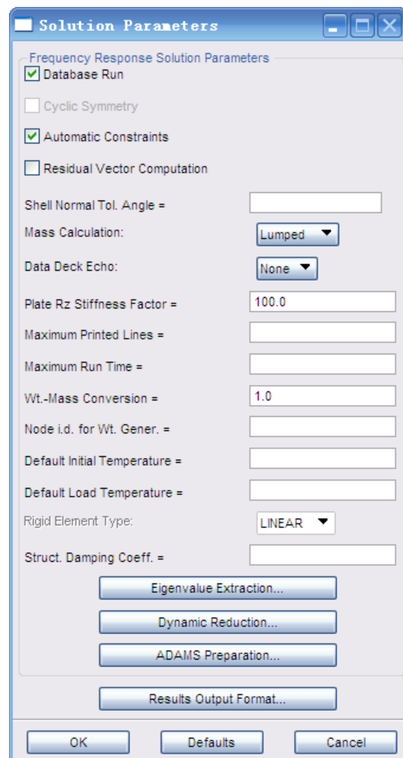


图 13-42 Solution Parameters 页面

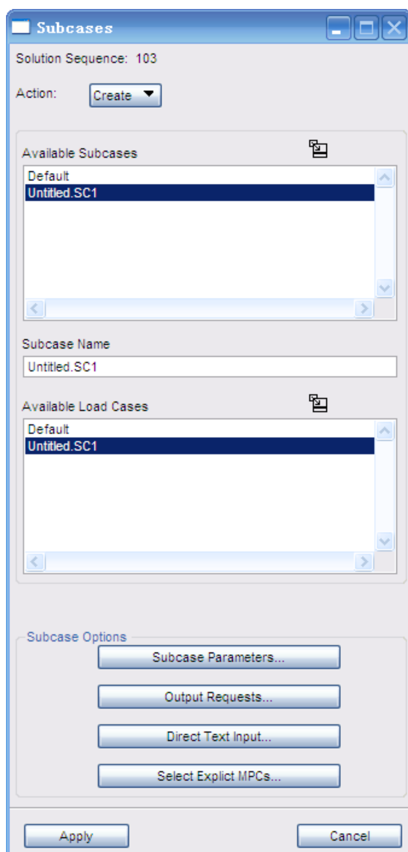


图 13-43 Subcases 页面

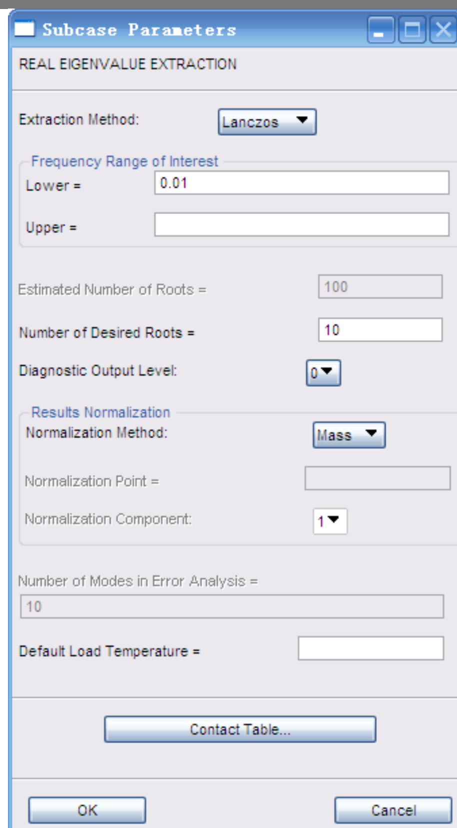


图 13-44　Subcase Parameters 页面

13.5.5 结果后处理

采用上节结果后处理相同的方法，这里就不再赘述，得到柔性地基塔的各阶振型如图 13-45 所示。

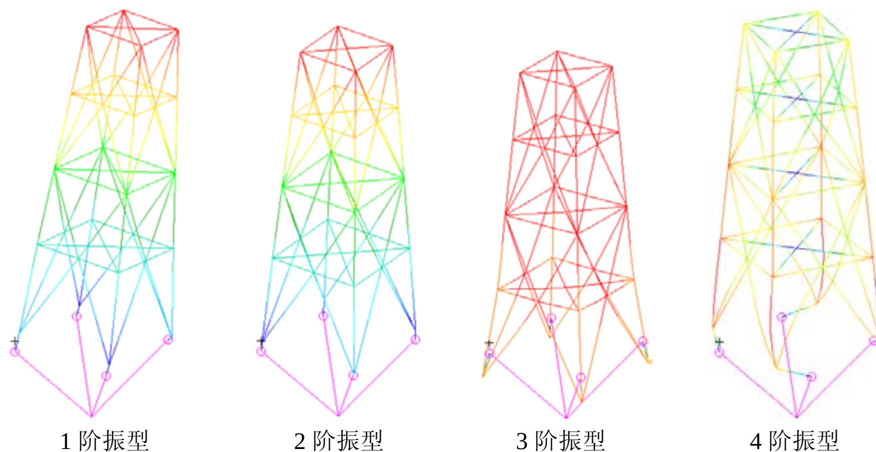


图 13-45　塔的各阶振型

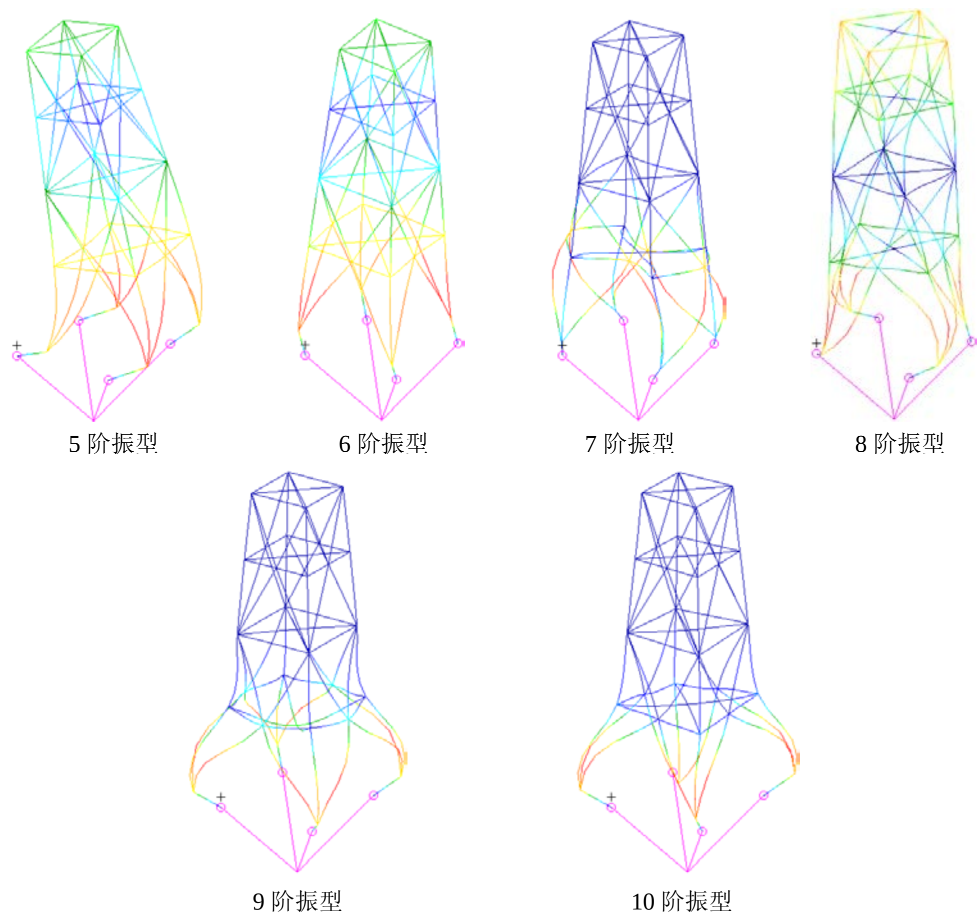


图 13-45　塔的各阶振型（续）

13.6 含预应力的平板模态分析

本练习的目的在于演示 Patran2010 中进行预应力模态分析的能力，分析模型是在拉应力作用下的正方形板。目标是用 SOL103 进行模态分析和用 SOL106 进行预应力模态分析，并比较这两个分析的固有频率和振型。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\plate_mode.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\plate_mode.bdf。

13.6.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击命令栏 File/New，输入数据库文件名 plate_mode.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code= Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

13.6.2 创建几何与网格模型

（1）点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 13-46 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Surface，Method=XYZ。

（2）如图 13-46 所示，在 Vector Coordinate List 文本框中输入<1,1,0>，点击 Apply 按钮生成平板模型。

（3）点击工具栏上的 Meshing 按钮，打开如图 13-47 所示的 Finite Element 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Surface。在页面中部，依次设置 Elem Shape=Quad，Mesher=IsoMesh，Topology=Quad4。

（4）如图 13-47 所示，在 Surface List 文本框中选择 Surface 1，勾选取消 Automatic Calculation 选项，在 Value 文本框中输入数值 0.1，点击 Apply 按钮生成网格模型。

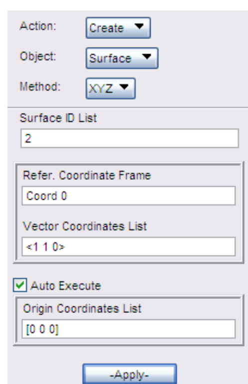


图 13-46 Geometry 页面

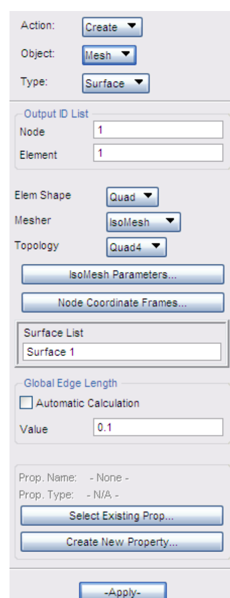


图 13-47 Finite Element 页面

13.6.3 边界条件定义

（1）点击工具栏上的 Lodas/BCs 按钮，打开如图 13-48 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Tyep=Nodal。

（2）如图 13-48 所示，在 New Set Name 文本框中输入 constraint_bottom。

（3）如图 13-48 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 13-49 所示的 Input Data 页面，在 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<,0,0>，在 Rotations<R1 R2 R3>文本框中输入<0,,>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 13-48 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 13-50 所示的

Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中选择平板底部全部节点，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 13-48 所示，点击 Apply 按钮生成位移约束边界条件。

（6）采用相同的方法，定义名为 constraint_left，Translations<T1 T2 T3>为<0,,0>，在 Rotations<R1 R2 R3>为<,0,>，约束平板左边界全部节点的位移约束边界条件，得到如图 13-51 所示的平板有限元模型。

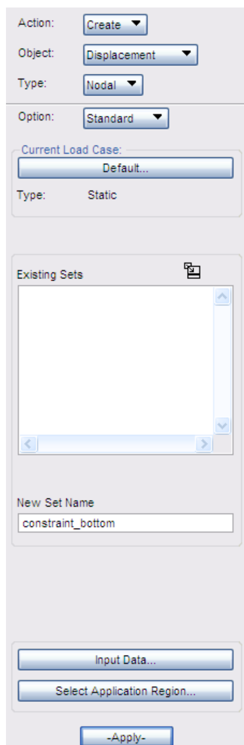


图 13-48　Load/Boundary Conditions

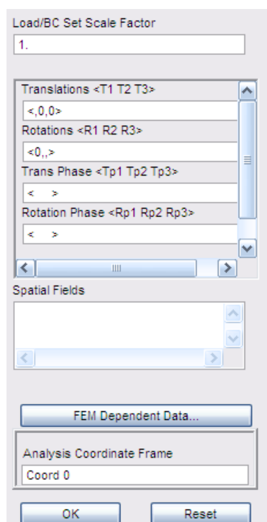


图 13-49　Input Data 页面

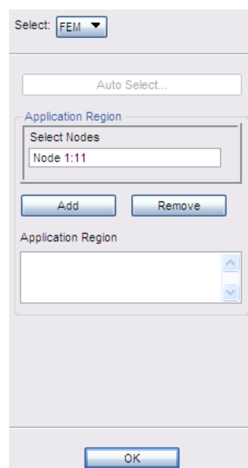


图 13-50　Select Application Region 页面

（7）在如图 13-52 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Total Load，Type=Element Uniform。

（8）如图 13-52 所示，在 New Set Name 文本框中输入 right，设置 Target Element Type=2D。

（9）如图 13-52 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 13-53 所示的 Input Data 页面，在 Edge Load<F1 F2 F3>文本框中输入<1000 0 0>，点击 OK 按钮退出页面。

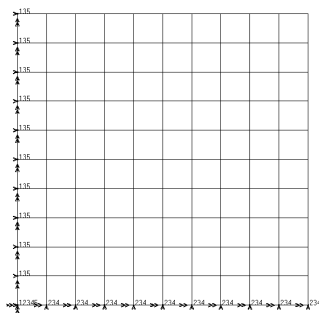


图 13-51　平板有限元模型

（10）如图 13-52 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 13-54 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select 2D Elements or Edges 文本框中，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（11）如图 13-54 所示，点击 Apply 按钮生成载荷边界条件。

（12）采用相同的方法，定义载荷名字为 top，Edge Load<F1 F2 F3>为<0 1000 0>，载荷作用区域为平板顶部单元。最终得到如图 13-55 所示的平板有限元模型。

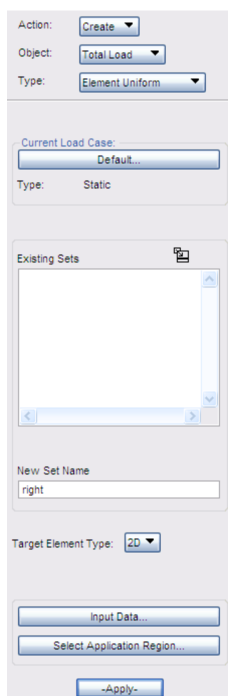


图 13-52　Load/Boundary Conditions

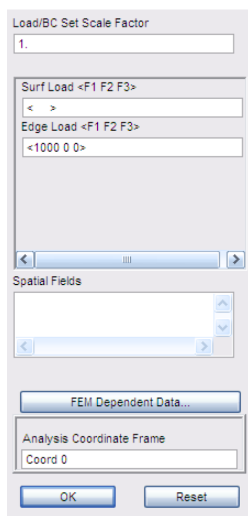


图 13-53　Input Data 页面

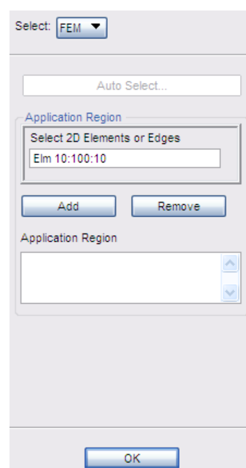


图 13-54　Select Application Region 页面

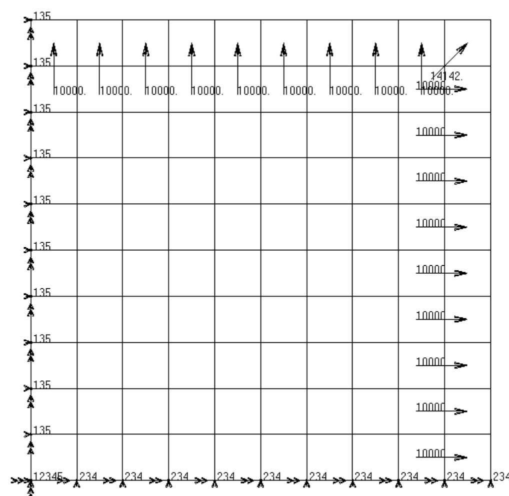


图 13-55　平板有限元模型

13.6.4 定义材料本构关系

（1）点击工具栏上的 Propertis 下的 Isotropic 按钮，在如图 13-56 所示的 Materials 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 13-56 所示，在页面中部的 Material Name 文本框中输入 Al。

（3）如图 13-56 所示，点击 Input Properties，打开如图 13-57 所示的 Input Options 页面，在 Elastic Modulus 文本框中输入数值 10e6，在 Poisson Ratio 文本框中输入数值 0.33，在 Density 文本框中输入数值 0.101，点击 OK 按钮退出页面。

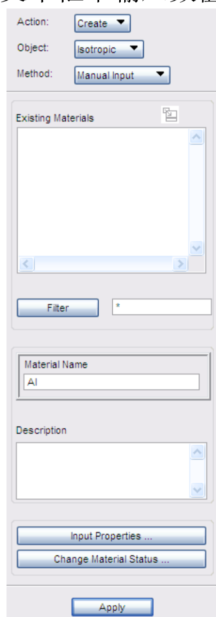


图 13-56　Materials 页面

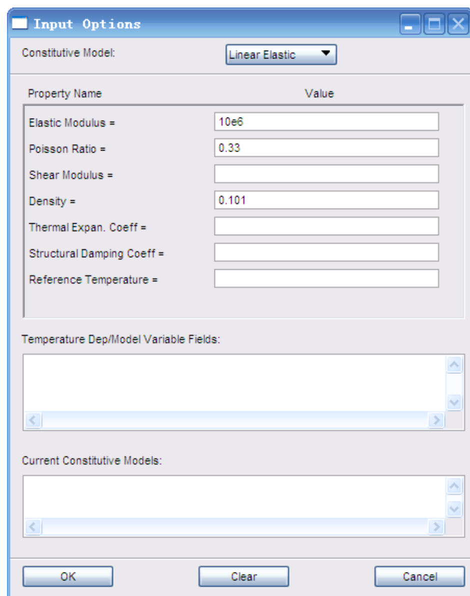


图 13-57　Input Options 页面

（4）如图 13-56 所示，点击 Apply 按钮完成材料定义。



技巧提示

同静力分析不同，模态分析需要形成单元质量阵，故而除材料弹性模量和泊松比外，还需要输入材料的密度值，由软件系统自动计算单元质量阵、总质量阵等。

13.6.5 定义单元属性

（1）点击 Properties 下的 Shell 按钮，打开如图 13-58 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=2D，Method=Shell。

（2）如图 13-58 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 plate。

（3）如图 13-58 所示，点击 Input Properties...按钮，打开如图 13-59 所示的 Input Properties 页面，在 Material Name 文本框中选择 al 材料，在 Thickness 文本框中输入数值 0.01625，点击 OK 按钮退出页面。

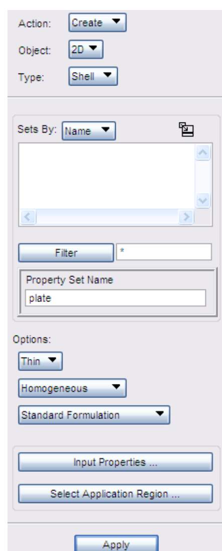


图 13-58 Element Properties 页面

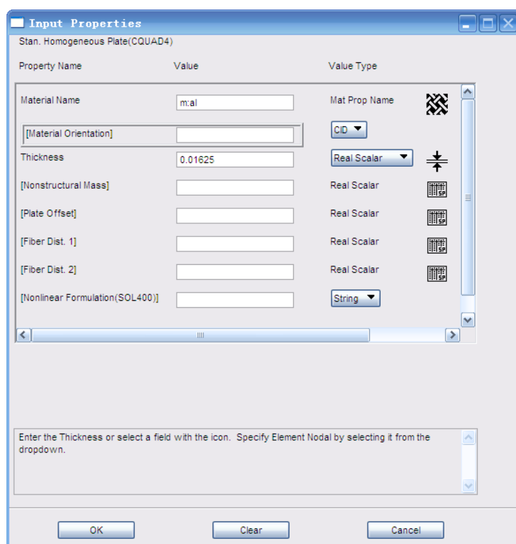


图 13-59 Input Properties 页面

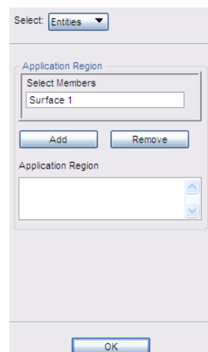


图 13-60 Select Application Region 页面

（4）如图 13-58 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 13-60 所示的 Select Application Region 页面，在 Select Members 文本框中选择整个平板，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中， 点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 13-58 所示， 点击 Apply 按钮完成单元属性定义。

13.6.6 分析求解设置

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 13-61 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze， Objective=Entire Model， Method=Full Run。

（2）如图 13-61 所示， 在 Job Name 文本框中输入 normal_mode。

（3）如图 13-61 所示， 点击 Solution Type…按钮， 在如图 13-62 所示的 Solution Type 页面中选择 NORMAL MODE 选项。

（4）如图 13-62 所示，点击 Solution Parameters…按钮，打开如图 13-63 所示的 Solution Parameters 页面，在 Wt-Mass Conversion 文本框中输入数值 0.00259，连续点击两次 OK 按钮退出页面。

（5）如图 13-61 所示， 点击 Apply 按钮生成 normal_mode.bdf 文件。

（6）如图 13-64 的 Analysis 页面所示， 重新在 Job Name 文本框中输入 prestiffen。

（7）如图 13-64 所示，点击 Solution Type…按钮，打开如图 13-65 所示的 Solution Type 页面，选择 NONLINEAR STATIC 选项。

提示：含预应力的模态分析类型，放在非线性静力分析 SOL 106 中实现。

（8）如图 13-65 所示， 点击 Solution Parameters…按钮， 在 Wt-Mass Conversion 文本框中输入数值 0.00259，连续点击两次 OK 按钮退出页面。

（9）如图 13-64 所示， 点击 Subcases…按钮， 打开如图 13-66 所示的 Subcases 页面，在 Subcase Name 文本框中输入 prestiffen。

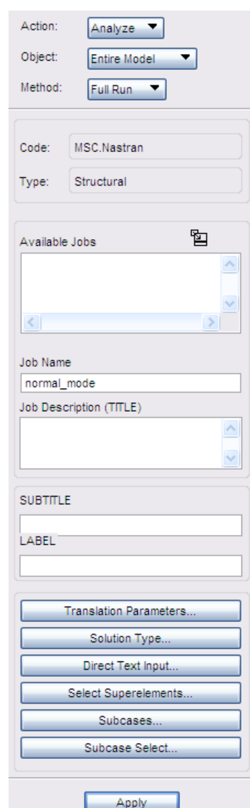


图 13-61　Analysis 页面

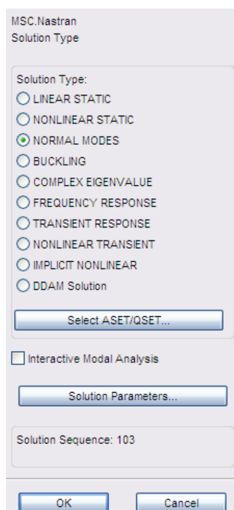


图 13-62　Solution Type 页面

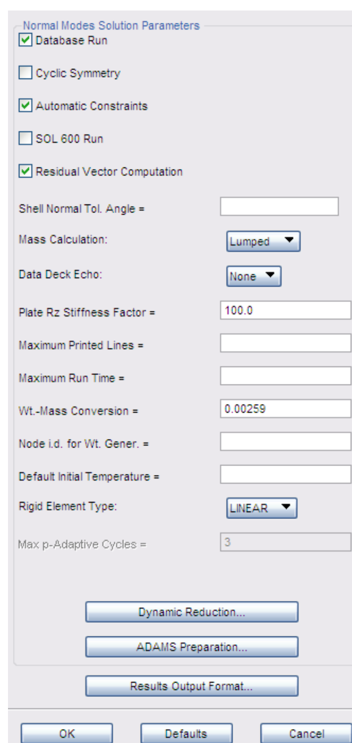


图 13-63 Solution Parameters 页面

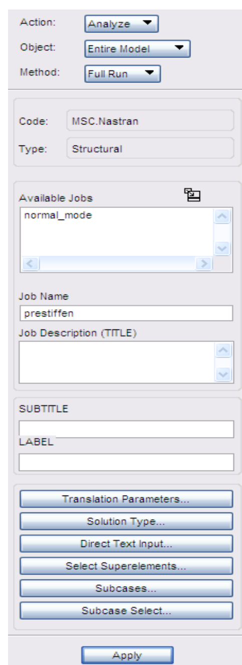


图 13-64　Analysis 页面

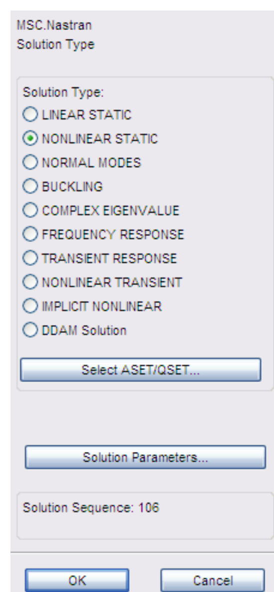


图 13-65　Solution Type 页面

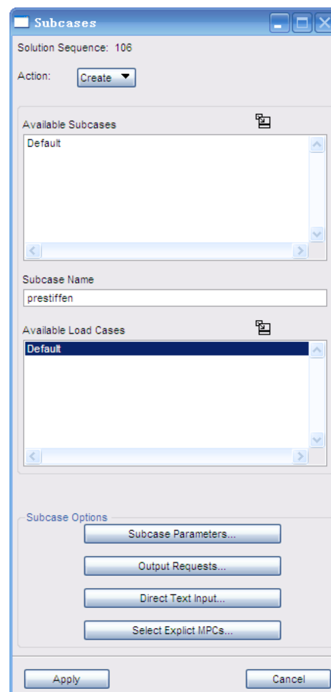


图 13-66　Subcases 页面

（10）如图 13-65 所示，点击 Subcases Parameters…按钮，打开如图 13-67 所示的 Subcase Parameters 页面，在页面中部勾选 Normal Modes 选项，点击 OK 按钮退出页面。

（11）如图 13-66 所示，点击 Apply 按钮生成子工况，点击 Cancel 按钮退出页面。

（12）如图 13-64 所示，点击 Subcase Select…按钮，在 Subcase Selected 列表中点选 Default，在上面列表中点选 prestiffen 使其出现在 Subcases Selected 列表中，点击 OK 按钮退出页面。

（13）如图 13-64 所示，点击 Apply 按钮生成 prestiffen.bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择上述两个不同的 bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

13.6.7 结果后处理

（1）计算完毕后，在如图 13-68 所示的 Analysis 页面中，重新依次设置 Action=Access Results，Objective=Attach XDB，Method=Result Entities。

（2）如图 13-68 所示，点击 Select Results File…按钮，选择 normal_mode.xdb 结果文件进行关联。

（3）采用相同的方法，读取 prestiffen.xdb 结果文件。

（4）点击菜单栏 Results 命令，在如图 13-69 所示的 Results 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Quick Piot。

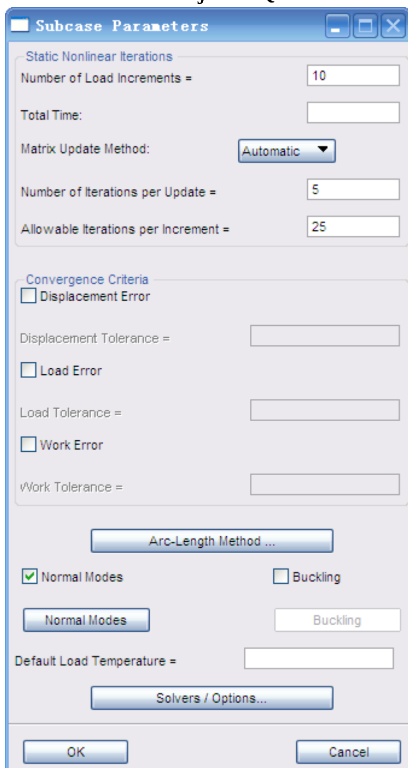


图 13-67 Subcases Parameters 页面

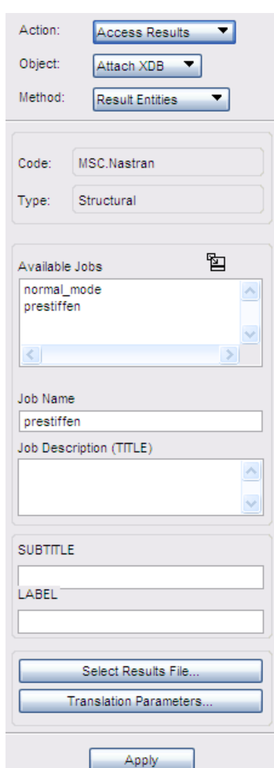


图 13-68 Analysis 页面

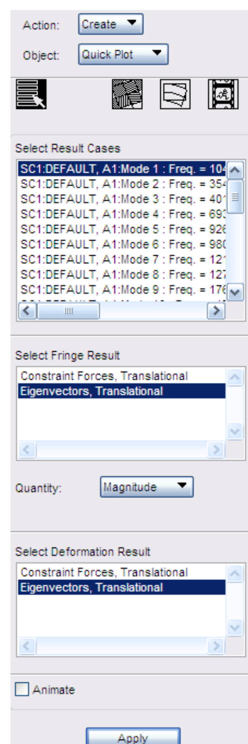


图 13-69 Results 页面

（5）如图 13-69 所示，在 Select Result Cases 列表中选择 SC1, DEFAULT A1:Mode1: Freq=1047.1，在 Select Deformation Result 列表中选择 Eigenvectors, Translational，设置

Quantity=Magnitude。

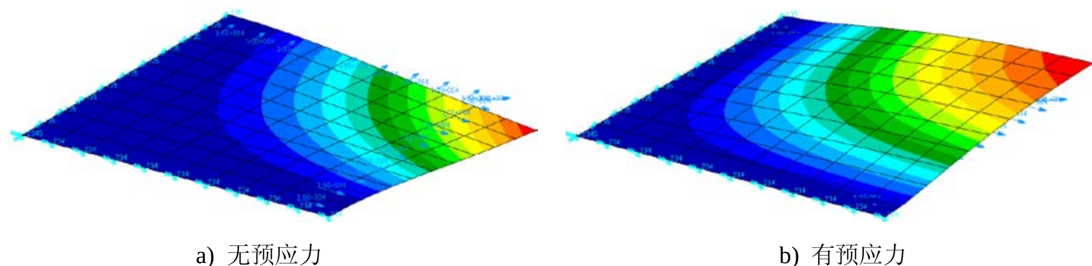
（6）点击如图 13-69 所示的 Fringe Attributes 按钮，在页面中部勾选取消 Show Viewport Legend，Show Title 和 Show Max/Min Lable 选项。

（7）点击如图 13-69 所示的 Deform Attributes 按钮，在页面中部勾选取消 Show Viewport Legend，Show Undeformed，Show Title，Show Maximum Lable 选项，点击 Apply 按钮得到如图 13-70a 所示的无预应力一阶振型图。

（8）采用类似的方法，得到如图 13-70b 所示含预应力的一阶振型图。

（9）两种不同条件下的各阶频率值对比如表 13-2 所示。

提示：由分析结果对比可知，本例中的预应力对结构固有频率有较大的影响，在实际分析中不可忽略其影响。



a) 无预应力　　　　b) 有预应力

图 13-70　模板一阶振型对比

表 13-2 无有预应力作用下的频率值对比 (单位：Hz)

阶次	无预应力	有预应力
1	1047.1	5735.3
2	3545.6	12860
3	40113.2	13020
4	6934.9	17413
5	9268.9	21036
6	9802.9	21389
7	12178	24166
8	12711	24437
9	17652	29710
10	17778	30122

第 14 章　瞬态响应分析

内容导航



可以用瞬态响应分析确定结构在静载荷，瞬态载荷和简谐载荷的随意组合作用下的随时间变化的位移、应变、应力及力。载荷和时间的相关性使得惯性力和阻尼作用比较显著。如果惯性力和阻尼作用不重要，就可以用静力学分析代替瞬态分析。

通过本章的学习，读者可以了解使用 Patran 和 Nastran 进行瞬态响应分析的分析流程以及各参数的设置，完整深入掌握瞬态响应分析的功能和方法。

∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽

重点剖析

* 瞬态响应分析概述
* 车灯瞬态响应分析实例
* 汽车车身瞬态响应分析实例

∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽∽

14.1　瞬态响应分析及其步骤

瞬态响应分析又称时间历程分析：在时域内计算结构在随时间变化的载荷作用下的动力响应，可分为直接瞬态响应分析和模态瞬态响应分析。瞬态响应分析的步骤如下：

（1）创建或读入几何模型。

（2）划分有限元网格。

（3）创建工况。

（4）创建边界条件及载荷。

（5）定义材料属性。

（6）定义单元属性。

（7）分析求解。

（8）结果后处理。

14.2　车灯瞬态响应分析

14.2.1 新建一个数据文件

直接单击□按钮，或选择菜单 File>New 命令，弹出 New Database 窗口，在文件名

输入框中输入 light，单击 OK 按钮。Tolerance>Based on Model，Model Dimension>10.0, Analysis Code >MD Nastran, Analysis Type>Structural，单击 OK 按钮确认。

14.2.2 读入数据文件

单击 File>Import…命令，弹出 Import 窗口，Object>Model，Source>MD Nastran Input，然后找到文件所在的目录，单击 Apply 按钮，如图 14-1 所示。弹出如图 14-2 所示的信息窗口，单击 OK 按钮，将文件读入，读入的模型如图 14-3 所示。

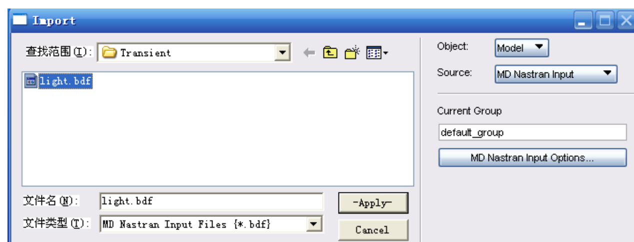


图 14-1　导入数据文件设置

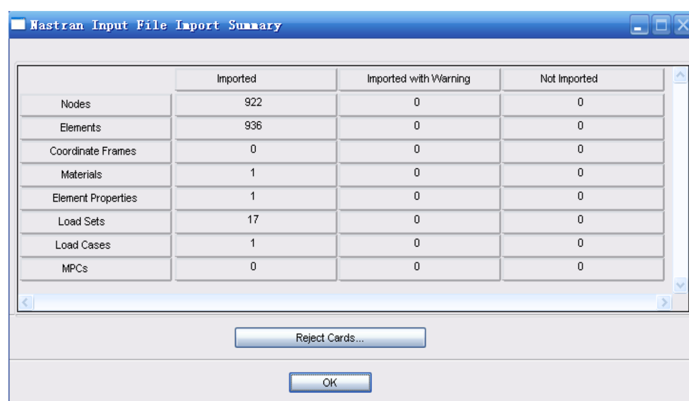


图 14-2　输入文件信息窗口

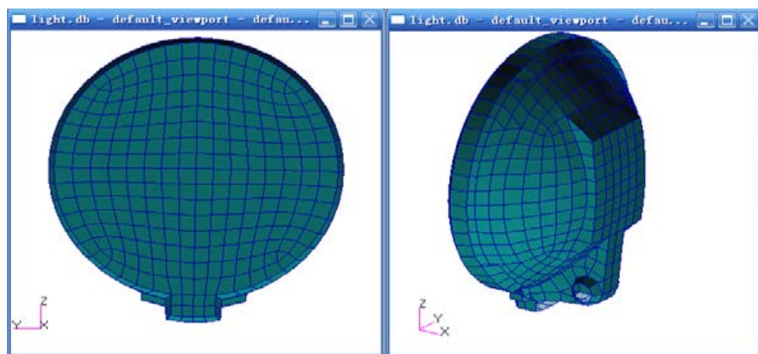


图 14-3　车灯模型

14.2.3 定义工况

单击 ***Load/BCs*** 下的 Create Load Case 应用工具按钮，在 Load Case Name 中输入 Load1，同时选中 Make Current，Type 按钮对应的选项选择 Time Dependent，如图 14-4 所示，单击 Apply 按钮，完成创建。

14.2.4 创建载荷场

（1）定义场：点击 ***Load/BCs*** 中 LBC Fields 下的应用工具按钮 （Action>Create，Object>Non Spatial，Method>Tubular Input），如图 14-5 所示，在 Field Name 项中输入 f1，单击 Option 按钮，在 Maximum Number of t 项中输入 101，单击 OK。单击 Input Data 按钮，打开如图 14-6 所示用表格定义非空间场的输入面板，单击 Map Function to Table 按钮，打开如图 14-7 所示 PCL 函数输入面板，在 PCL Expression f（'t）选项中输入 sind（360.*250.*'t），Start Time 设置为 0，End Time 设置为 0.008，Number of Points 设置为 20，单击 Apply 按钮，单击 Cancel 按钮，此时在生成的数据表的第 101 行输入 Time（t）为 0.04 ,Value 输入为 0.0，单击 OK 按钮，单击 Apply 按钮。

（2）显示定义的函数曲线：Action>Show, Select Field to Show>field1, 单击 Specify Range 按钮，弹出 Specify Range 窗口，如图 14-8 所示，t 值中 Minimum 设置为 0，Maximum 设置为 0.04，No. of Points 设置为 101，单击 OK，单击 Apply，单击 Cancel 按钮，弹出定义的函数曲线，如图 14-9 所示。

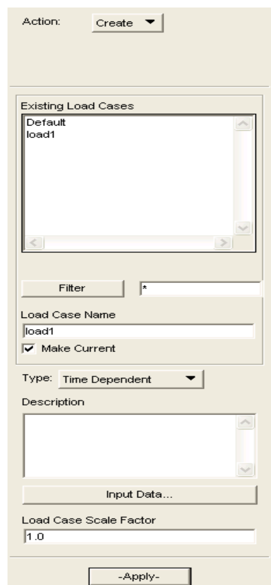


图 14-4 定义工况

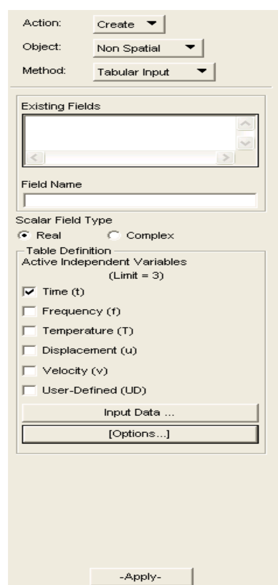


图 14-5 定义非空间场面板

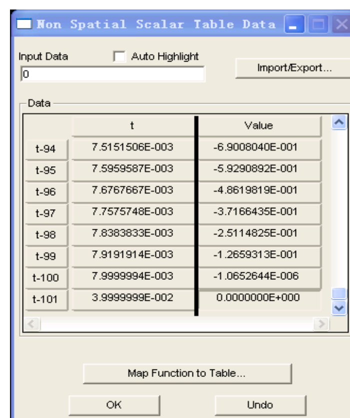


图 14-6 用表格定义非空间场面板

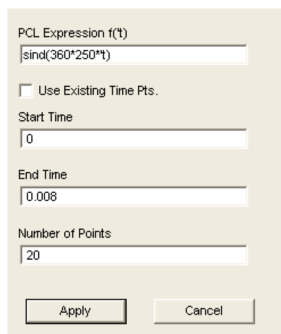


图 14-7　PCL 函数输入面板

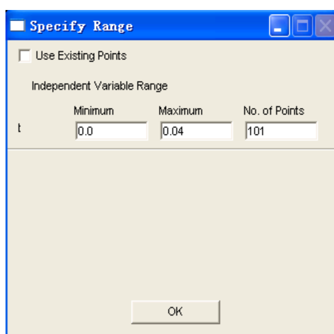


图 14-8　设置显示曲线

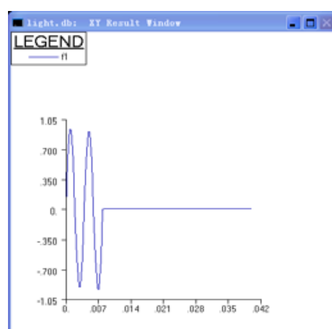


图 14-9 非空间场的曲线图

14.2.5 设置边界条件和施加载荷

（1）单击 ***Loads/BCs*** 中 LBC Actions 下的应用工具按钮设置边界条件 （Action> Modify，Object>Displacement，Type> Nodal），Current Load Case>Load1，New set Name 框中输入 spc，单击 Input Data 按钮，设置 Translations<T1 T2 T3>值为<0 0 0>，Rotations<R1 R2 R3>值为<0 0 0>，单击 OK 按钮；单击 Select Application Region 按钮，Geometry Filter>FEM，选择安装孔周围的节点，单击 Add，OK、Apply 按钮，施加边界条件的模型如图 14-10 所示。

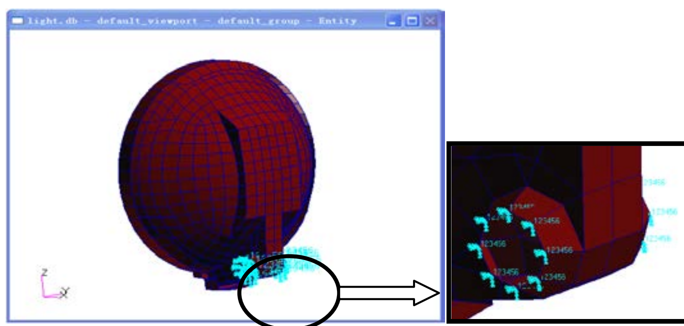


图 14-10　施加边界条件后的模型

（2）施加载荷：Action>Create，Object> Force，Type>Nodal，New Set Name>force，单击 Input Data 按钮，如图 14-11 所示，设置 Force<F1 F2 F3>值为<100 0 0>，在 Time/Freq. Dependent Fields 列表中选择 f1，单击 OK，单击 Select Application Region 按钮，打开如图 14-12 所示面板，Geometry Filter 选择 FEM，在 Select Node 输入框中输入 Node 316，单击 Add、OK、Apply 按钮，关闭几何点及节点显示，此时在施加载荷的节点处可以看到“0”标记，它表示 0 时刻施加到平板上的外激励为 0。

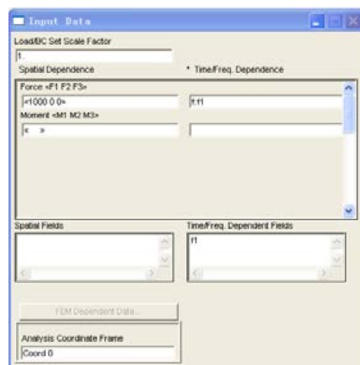


图 14-11　创建变化的载荷

（3）显示边界条件及载荷：Action>Plot Marker，选中 Assigned Load/BC Sets 下的 Displ_spc 及 Force_f1，Time/Freq.项中，输入 0.001，Select Groups 选择 default_group，单击 Apply 按钮。此时 0.001 时刻的载荷值及方向就会显示出来，如图 14-13 所示。

14.2.6 定义材料属性

单击 ***Properties*** 下的 Isotropic 应用工具按钮，Action>Create，Object>Isotropic，Method>Manual Input，Material Name>elastic，单击 Input Property 按钮，Constitutive Model>Linear Elastic，Elastic Modulus>2.1e10，Poisson Ratio>0.3，Density>1.0e-9，单击 OK 按钮，单击 Apply 按钮。



图 14-12　选择施加载荷的节点

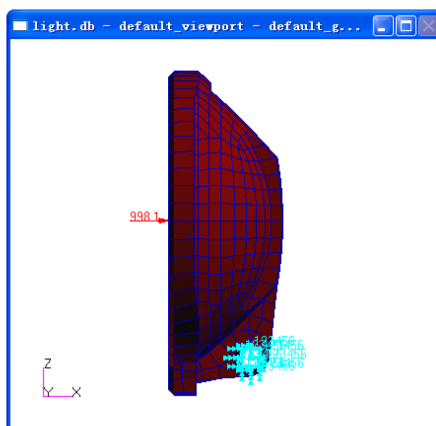


图 14-13　显示载荷和边界条件

单击 ***Properties*** 下 2D Properties 应用工具按钮（Action>Create，Object>2D，Type>Shell），Property Set Name>shell，Option（s）>Homogeneous，Standard Formulation，单击 Input Properties 按钮，Material Name>elastic，Thickness>1.5 单击 OK，Select Members>选中所有的单元，单击 Add、Apply 按钮。

14.2.7 分析求解

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，单击图标（Action>Analyze，Object>Entire Model，Type>Full Run），Job Name>light，单击 Solution Type 按钮，Solution Type>TRANSIENT RESPONSE 按钮，Formulation>Direct，单击该面板上的 Solution Parameters...按钮，进入求解参数设置面板，如图 14-14 所示，进行如下设置 Mass Calculation 选择 Coupled，Wt.-Mass Conversion 设置为 1.0，Struct. Damping Coeff.设置为 0.06，W3. Damping Factor 设置为 1571，连续单击 OK 按钮；单击 Subcases…按钮，打开如图 14-15 所示面板，在 Available Subcases 选项中选中 load1，单击 Subcase Parameters…按钮，单击 DEFINE TIME STEPS 按钮，No. of Time Steps 设置为 100，Delta-T 设置为 0.04，如图 14-16 所示，连

续单击 OK 按钮，单击 Apply 按钮，单击 Cancel 按钮；单击 Subcase Select 按钮，在 Subcases Selected 选项中选择 Default 选项，在 Subcases Solution For Solution Sequence 选项中选择 load1 选项，单击 OK 按钮，单击 Apply。接下来 Patran 将模型提交给 Nastran 运算。

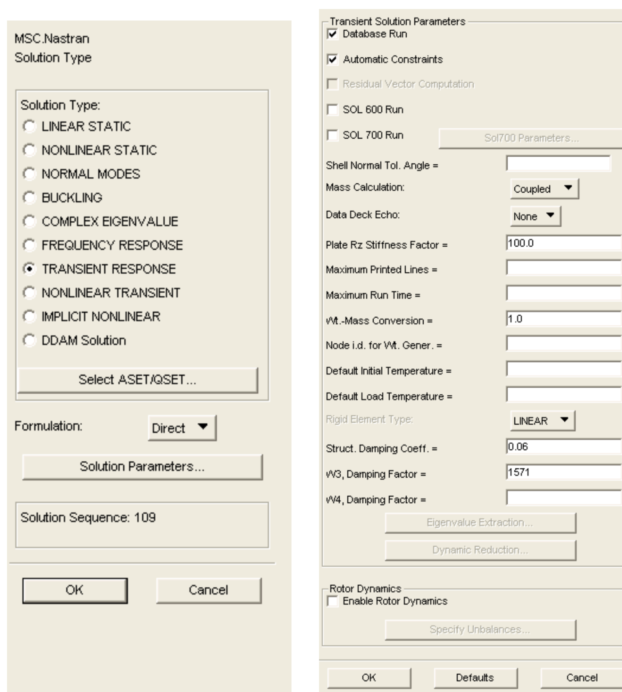


图 14-14 求解参数设置面板

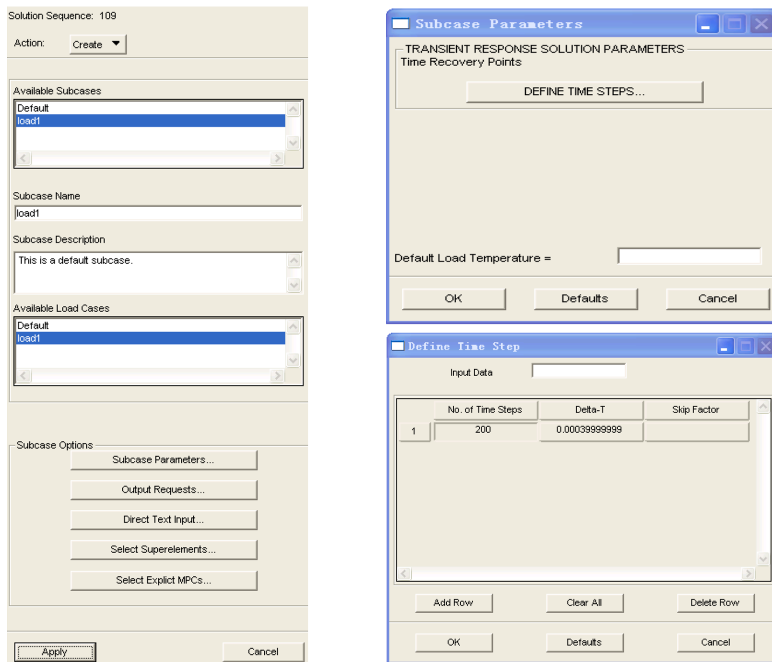


图 14-15 创建 Subcases 面板　　　　图 14-16 设置时间步

14.2.8 结果后处理

（1）在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，Action>Access Results，Object>Attach XDB，Method>Result Entities，单击 Select Results File 按钮，选择 light.xdb，单击 OK、Apply。

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮，Action> Create，Object>Graph，Method>Y vs X，如图 14-17 所示。

（3）在 Select Result Case（s） 中选择 SC1:LOAD1,0 of 201 subcases，单击按钮，弹出 Select Result Cases 按钮，Filter Method 选择 Global Variable，单击 Filter、Apply、Cancel 按钮，然后在 Select Y Result 选项框中选择 Displacements，Translational，Quantity 选择 X Component，单击按钮，在 Select Nodes 输入框中输入 Node 316，单击 Apply，生成如图 14-18 所示的曲线图。

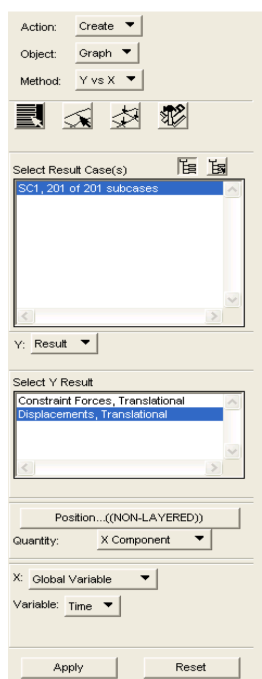


图 14-17　创建曲线

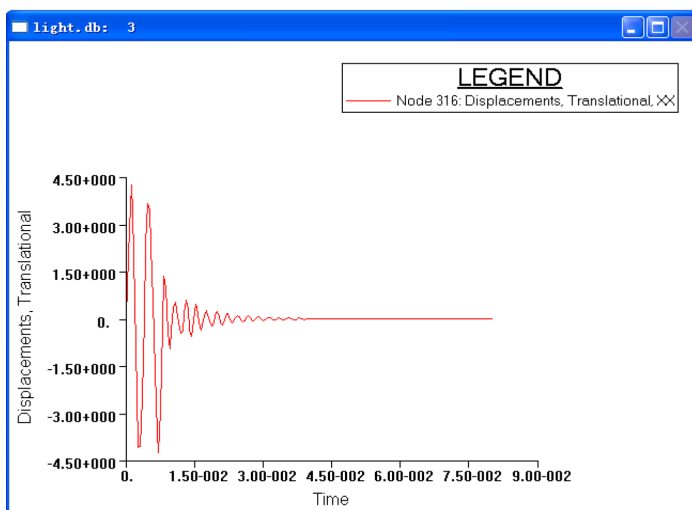


图 14-18　节点曲线

14.3　汽车车身的瞬态响应分析

在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\car_direct_transient.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\car_direct_transient.bdf。

14.3.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击命令栏 File/New，输入数据库文件名 car_direct_transient.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code=.Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

（3）点击菜单栏 File/Import，在 Source 下拉菜单中选择 MSC.Nastran Input 选项，选择 car_w_suspension.bdf 文件，点击 Apply 按钮。出现 Nastran Input File Import Summary 文本框，文本框的主要内容包括节点、单元、坐标系、材料、单元属性等。点击 OK 按钮完成车身模型的导入，得到如图 14-19 所示的汽车车身网格模型。

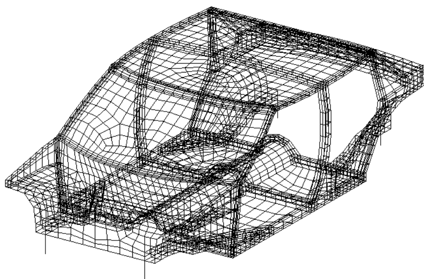


图 14-19　汽车车身模型

14.3.2 创建瞬态分析表

（1）点击工具栏的 Load/BCs 按钮，然后点击下面最右端的 Fields 按钮。

（2）在如图 14-20 Fields 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Non Spatial，Method=Tabular Input。

（3）如图 14-20 所示，在 Field Name 文本框中输入 bump。

（4）如图 14-20 所示，选择 Time (t)选项，点击 Input Data…按钮，打开如图 14-21 所示的 Non Spatial ScalarTable Data 页面。

（5）如图 14-21 所示，点击 Map Functon to Table…按钮，打开如图 14-22 所示的 Map Function to Table 页面，在 PCL Expression f(t) 文本框中输入 sind(10*360*'t)，在 Start Time 文本框中输入数值 0.1，在 End Time 文本框中输入数值 0.15，在 Number of Points 文本框中输入数值 20，点击 Apply 按钮完成设置，点击 Cancel 按钮退出页面。

（6）在如图 14-23 所示的 Non Spatial Scalar Table Data 页面中，修改前两个时间步的值为 0，在表的尾部增加如图 14-24 所示的两个额外的时间步，点击 OK 按钮完成设置。

（7）如图 14-20 所示，点击 Apply 按钮生成 bump 时间表。

（8）如图 14-25 所示，重新设置 Action=Show，在 Select Field To Show 列表中选择 bump。

（9）如图 14-25 所示，点击 Specify Range…按钮，打开如图 14-26 所示的 Specify Range 页面，勾选 Use Existing Points 选项。设置 Independent Variable Range 中的 Minmum=0.1，Maximum=0.15，No. of Points=20，点击 OK 按钮退出 Specify Range 页面。

（10）如图 14-25 所示，点击 Apply 按钮，得到如图 14-27 的表格图像和和图 14-28 数据显示。确认表格的正确性后，可点击 Unpost Current XYWindow 按钮以取消其显示。

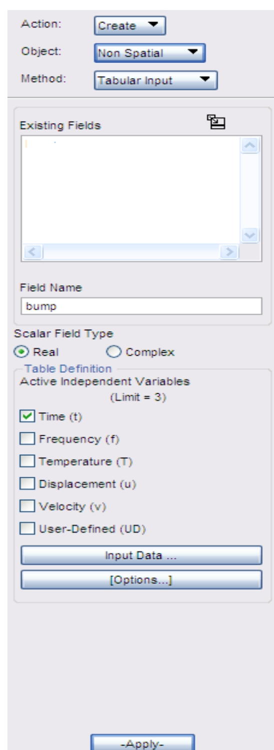


图 14-20　Fields 页面

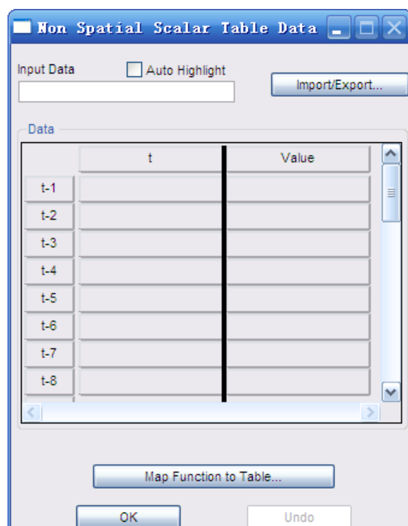


图 14-21　Non Spatial ScalarTable Data 页面

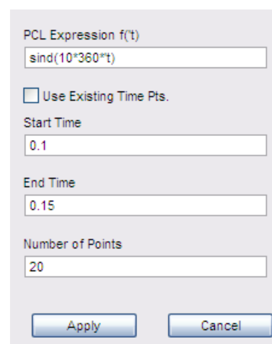


图 14-22　Map Function to Table

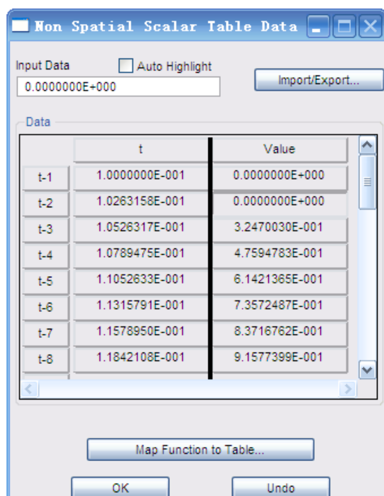


图 14-23　Non Spatial Scalar Table Data

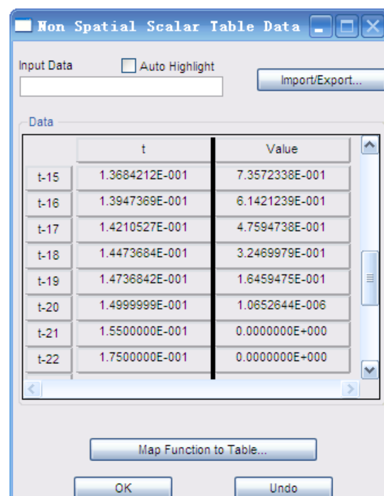


图 14-24　Non Spatial Scalar Table Data

14.3.3 创建动态工况

（1）点击 Load/BCs 下的 Create Load Case 按钮，打开如图 14-29 所示的 Load Cases 页面，设置 Action=Create。

（2）如图 14-29 所示，在 Load Case Name 文本框中输入 bump，设置 Type=Time

Dependent。

（3）如图 14-29 所示，点击 Apply 按钮生成 bump 工况。



图 14-25　Fields 页面

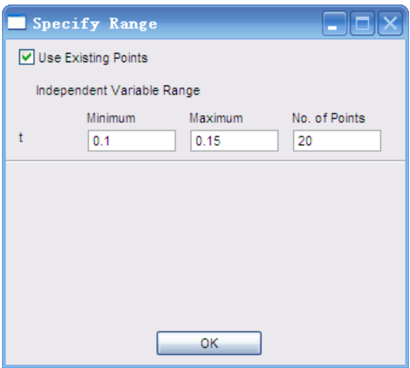


图 14-26　Specify Range 页面

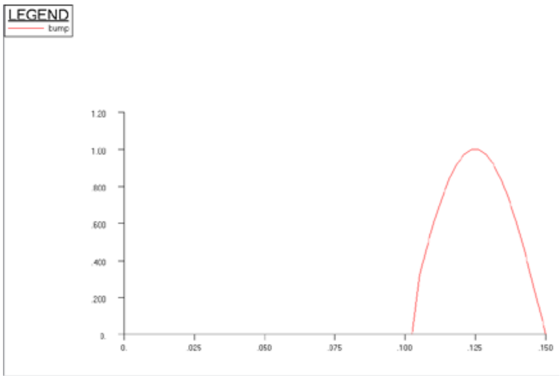


图 14-27　表格的图显示

Plotted Curves

t	Value
0.1	0.
0.10263158	0.
0.10526317	0.3247003
0.10789475	0.47594783
0.11052633	0.61421365
0.11315791	0.73572487
0.1157895	0.83716762
0.11842108	0.91577399
0.12105266	0.9694007
0.12368424	0.99658465
0.12631582	0.99658436
0.12894739	0.96939993
0.13157897	0.91577274
0.13421054	0.83716589
0.13684212	0.73572338
0.13947369	0.61421239
0.14210527	0.47594738
0.14473684	0.32469979
0.14736842	0.16459475
0.14999999	1.0652644E-006

Cancel

图 14-28　Plotted Curve 页面

14.3.4 边界条件定义

（1）点击 Displacment Constraint 按钮，在如图 14-30 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Type=Nodal。

（2）如图 14-30 所示，在 New Set Name 文本框中输入 pin_rear_suspension。

（3）如图 14-30 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 14-31 所示的 Input Data 页面，在 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<0 0 0>，点击 OK 按钮退出页面。

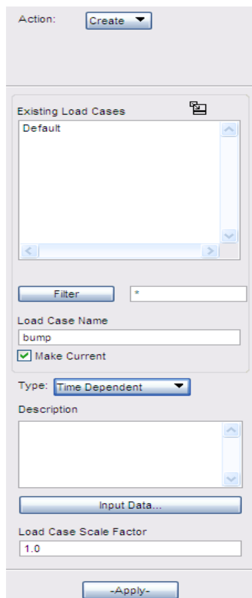


图 14-29 Load Cases 页面

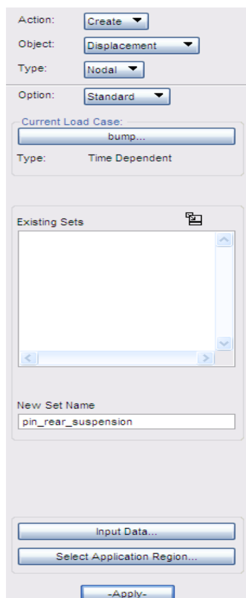


图 14-30 Load/Boundary Conditions 页面

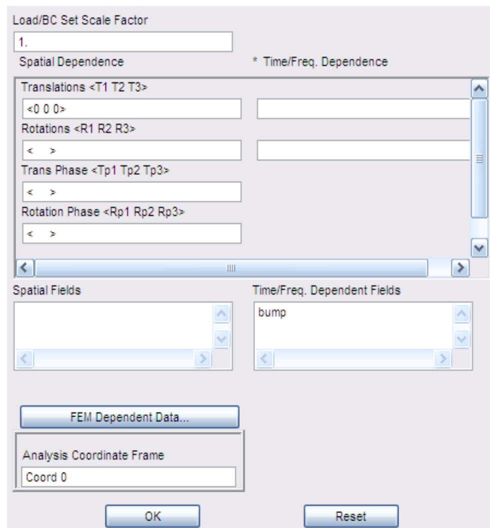


图 14-31 Input Data 页面

（4）如图 14-30 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 14-32 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中，选择后悬架的节点。点击 add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 14-30 所示，点击 Apply 按钮生成该位移约束。

（6）采用相同的方法，在 New Set Name 文本框中输入 bump。

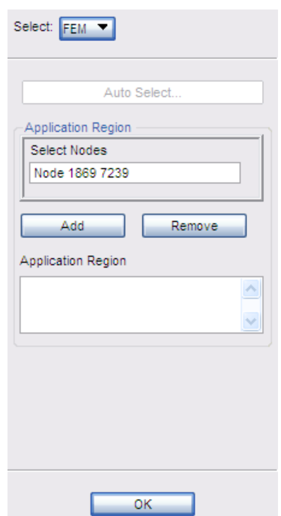


图 14-32 Select Application Region

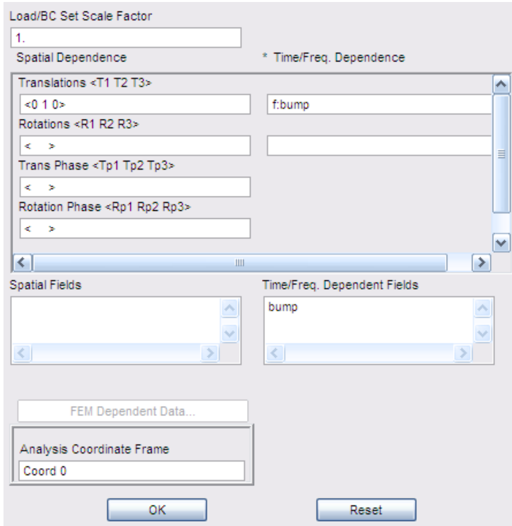


图 14-33 Input Data

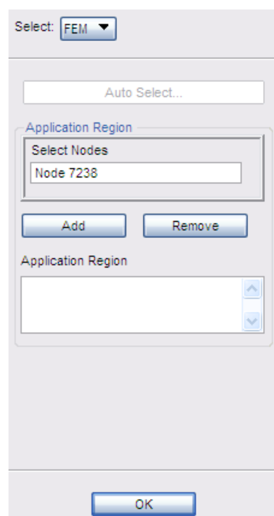


图 14-34 Select Application Region

（7）点击 Input Data…按钮，打开如图 14-33 所示的 Input Data 页面，在 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<0 1 0>，从 Time/Frq. Dependent Fields 列表中选择 bump，点击 OK 按钮退出页面。

（8）如图 14-34 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 14-34 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中，选择前悬架左侧一端的节点。点击 add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（9）点击 Apply 按钮生成该位移约束，得到的车身有限元模型如图 14-35 所示。

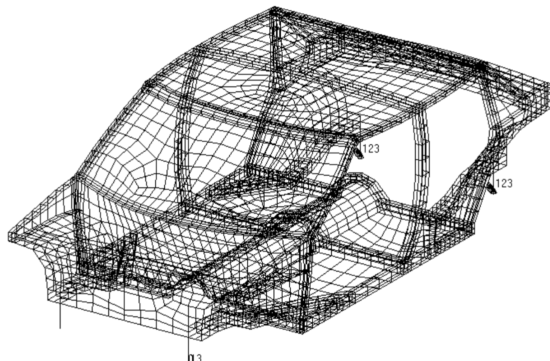


图 14-35　车身有限元模型

14.3.5 分析求解设置

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 14-36 所示 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 14-36 所示，在 Job Name 文本框中输入 car_bump。

（3）如图 14-36 所示，点击 Soluton Type…按钮，打开如图 14-37 所示的 Solution Type 页面，选择 TRANSIENT RESPONSE 选项，设置 Formulation=Direct。注意到 Solution Sequence: 109，表示直接瞬态分析的求解序列为 109。

（4）如图 14-37 所示，点击 Solution Parameters…按钮，打开如图 14-38 所示的 Solution Parameters 页面，设置 Struct. Damping Coeff.=0.1，连续点击两次 OK 按钮完成相关参数设置。

（5）如图 14-36 所示，点击 Subcase…按钮，打开如图 14-39 所示的 Subcases 页面，在 Available Subcases 列表中选择双击 bump。

（6）如图 14-39 所示，点击 Subcase Parameters…按钮，打开如图 14-40 所示的 Subcase Parameters 页面，在页面中点击 DEFINE TIME STEPS…按钮，打开如图 14-41 所示的 Define Time Step 页面，填写如图 14-41 所示的数值，连续点击 OK 按钮两次退出页面。

（7）如图 14-39 所示，点击 Output Requests…按钮，打开如图 14-42 所示的 Output Requests 页面，从 Select Result Type 列表中选择 Accelerations，点击 OK 按钮退出页面。

（8）如图 14-39 所示，点击 Apply 按钮使得上述设置生效，点击 Cancel 按钮退出页面。

（9）如图 14-36 所示，点击 Subcase Select…按钮，打开如图 14-43 所示的 Subcase Select 页面，在 Subcases Selected 列表中选择 Default，在上面列表中点选 bump 使其出现在 Subcases Selected 列表中，点击 OK 按钮退出页面。

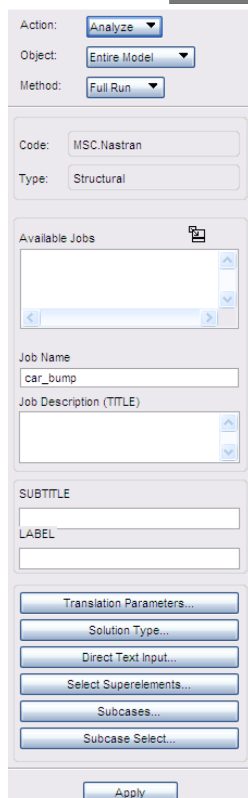


图 14-36　Analysis 页面

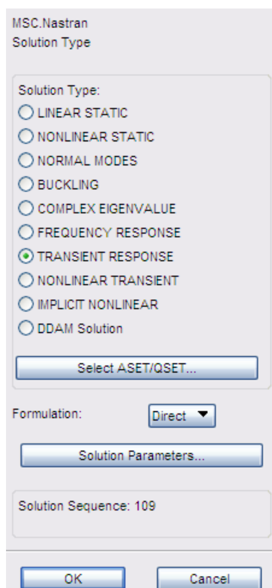


图 14-37　Solution Type 页面

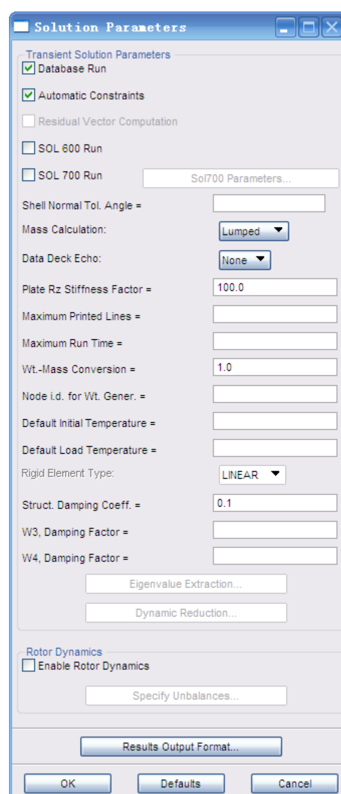


图 14-38　Solution Parameters 页面

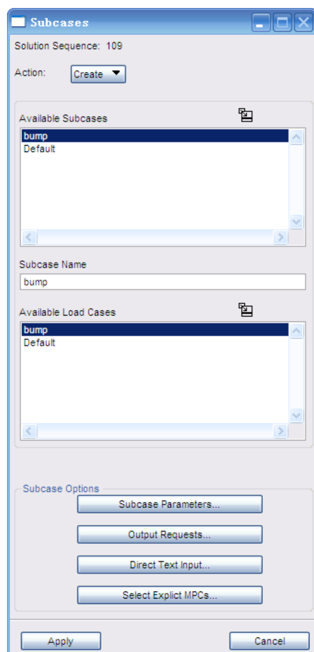


图 14-39　Subcases 页面图

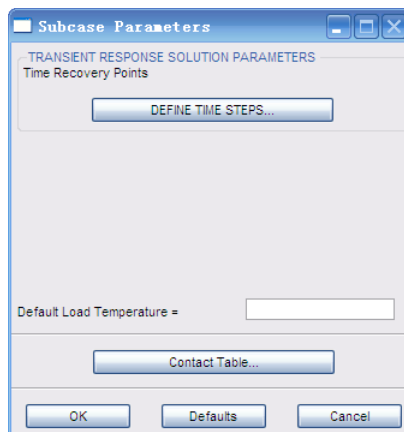


图 14-40　Subcase Parameters 页面

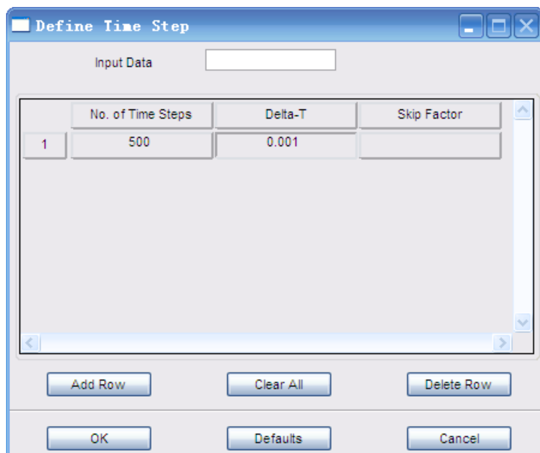


图 14-41　Define Time Step 页面

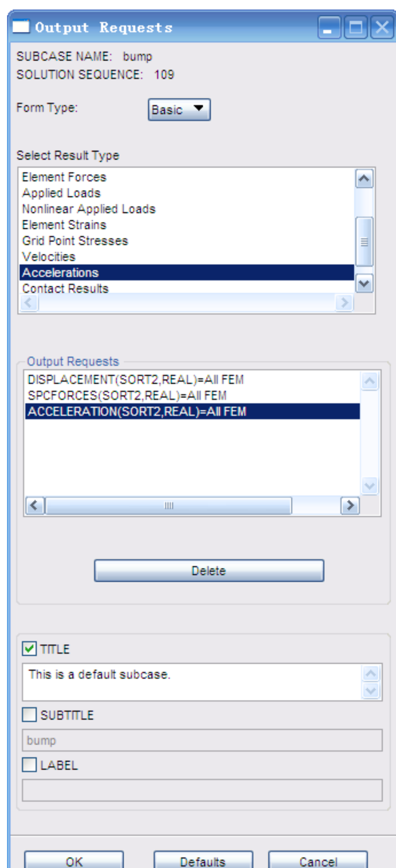


图 14-42　Output Requests 页面

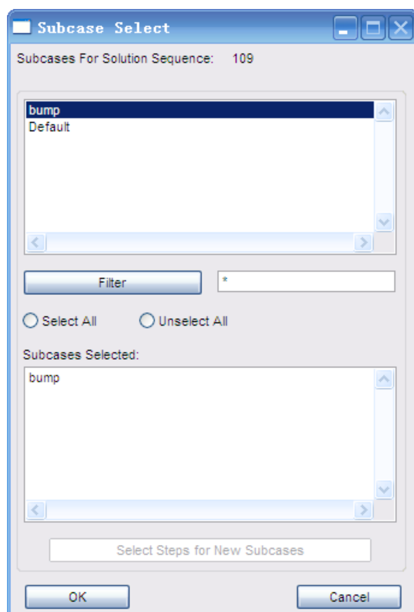


图 14-43　Subcase Select 页面

（10）如图 14-36 所示，点击 Apply 按钮生成 car_bump.bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择上述 bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行 bdf 文件，直至分析求解结束。

14.3.6 结果后处理

在频率响应分析中，常常需要得到各动力响应量与外载频率间的变化关系曲线，本节将详细介绍 Patran 该部分的功能。

（1）如图 14-44 所示，重新依次设置 Action=Access Results，Objective= Attach XDB，Method= Result Entities。

（2）点击 Select Results File…按钮，选择 car_bump.xdb 文件后点击 OK 按钮，点击 Apply 按钮实现与结果文件关联。

（3）点击工具栏上的 Results 按钮，打开如图 14-45 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Graph，Method=Y vs X。

（4）如图 14-45 所示，在 Select Result Case 列表中选择 bump, 0 of 501 subcases; THIS IS A DEFAULT SBUCASE。

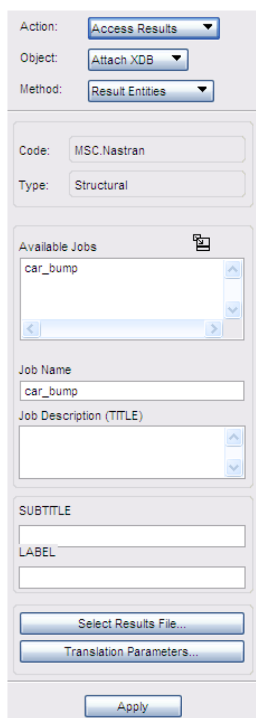


图 14-44 Analysis 页面

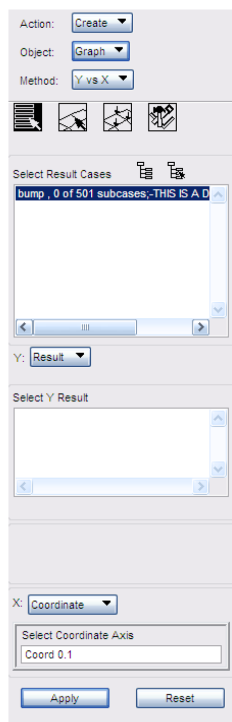


图 14-45 Results 页面

（5）在如图 14-46 所示的 Select Result Cases 页面中，点击 Filter 按钮， Select Result Cases 列表如图 14-46 所示，点击 Apply 按钮，点击 Close 按钮退出页面。

（6）在如图 14-47 所示的 Results 页面中，Select Y Result 列表中选择 Displacements, Translational，设置 Quantity=Z Component。

（7）如图 14-47 所示，点击 Target Entities 图标，打开如图 14-48 所示的 Results 页面，在 Select Nodes 文本框中输入 Node 7858 8640 8798，点击 Apply 按钮，得到如图 14-49 所示的时间-位移变化曲线。

（8）如图 14-48 所示，点击 Select Results 按钮，重新设置 Quantity=X Component，点击 Apply 按钮，得到如图 14-50 所示的时间-位移变化曲线。

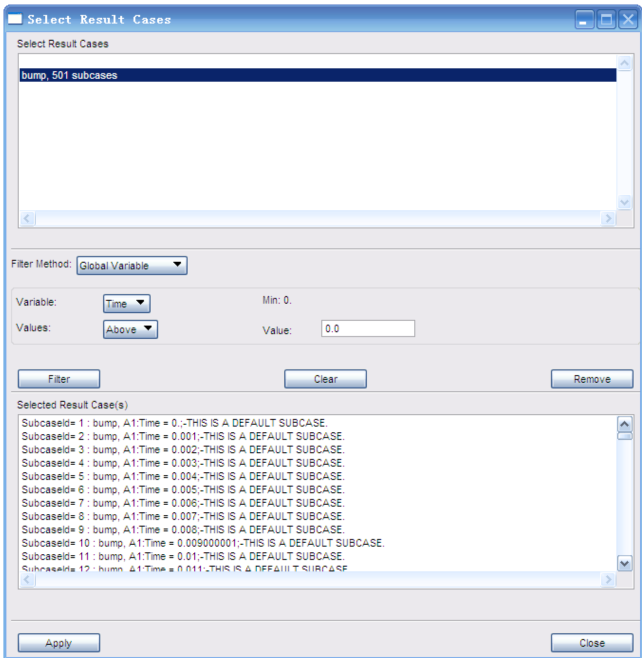


图 14-46　Select Result Cases 页面

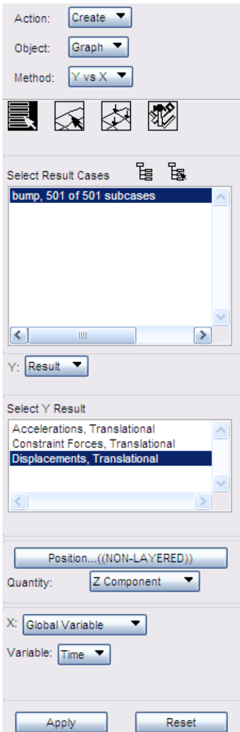


图 14-47　Results 页面

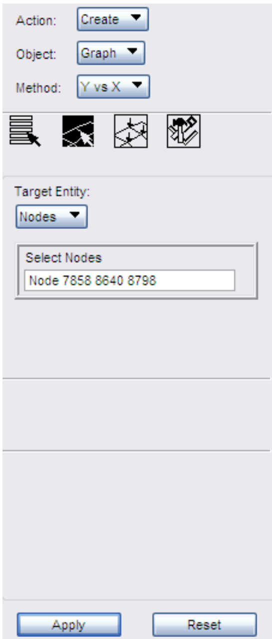


图 14-48　Results 页面

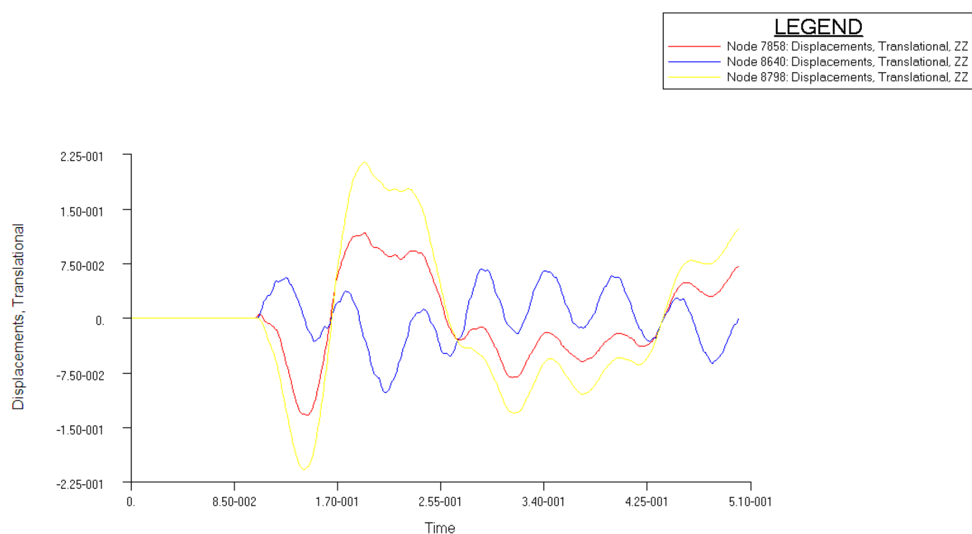


图 14-49　时间-位移变化曲线

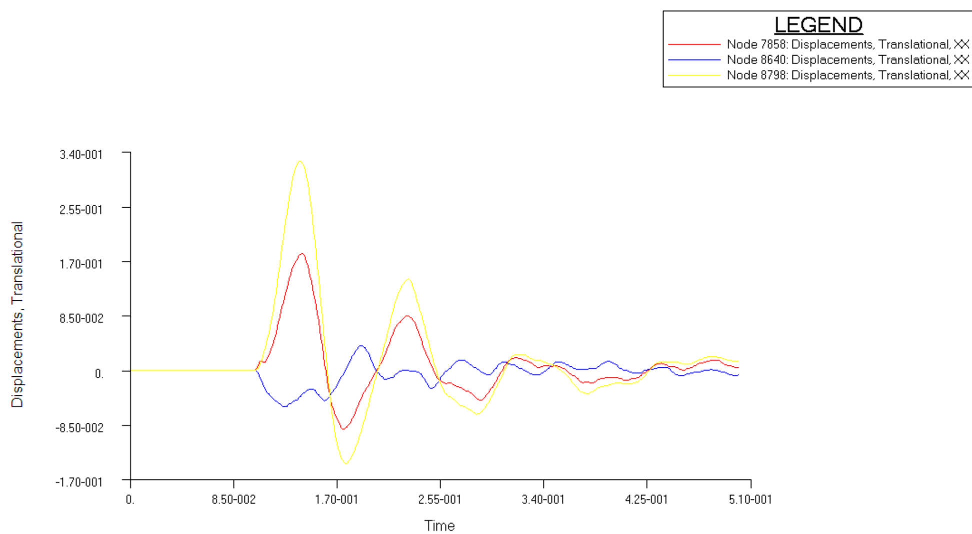


图 14-50　时间-位移变化曲线

第 15 章　频率响应分析

内容导航



频率响应分析用于计算结构在振荡载荷作用下对每一个计算频率的动响应，计算的响应为复数，实部代表响应的幅值，虚部代表响应的相位，计算的响应通常包括，节点位移、单元力和应力。

通过本章的学习，读者可以了解使用 Patran 和 Nastran 进行频率响应分析的分析流程以及各参数的设置，完整深入掌握频率响应分析的功能和方法。

重点剖析

* 频率响应分析概述
* 悬臂梁瞬态响应分析实例
* 汽车车身瞬态响应分析实例

15.1　频率响应分析及其步骤

用 Nastran 进行频率响应分析分为直接法和模态法。频率响应分析步骤如下：

（1）　创建或读入几何模型

（2）　划分有限元网格

（3）　创建工况

（4）　定义场

（5）　创建边界条件及载荷

（6）　定义材料属性

（7）　定义单元属性

（8）　分析求解

（9）　结果后处理

15.2　悬臂梁频率响应分析

如图 15-1 所示，悬臂梁长为 L＝0.6，宽 b＝0.06，高 h=0.03，材料的弹性模量 E＝70GPa，泊松比 ν ＝0.33，密度 $\rho = 2800\ \mathrm{kg/m^3}$，一端固定，另一端作用一单位力，其

频率变化范围是 20～1000Hz，步长为 20Hz，假设平板的结构阻尼系数为 0.1。

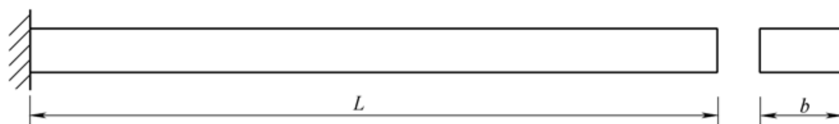


图 15-1　悬臂梁示意图

15.2.1 创建一个数据文件

直接单击按钮，或选择菜单 File>New，输入文件名 cantilever，单击 OK 按钮。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Structural。

15.2.2 创建几何模型

（1）生成面。单击 ***Geometry*** 应用工具按钮 Select Surfaces 下的图标 XYZ（Create> Surface> XYZ），Refer. Coordinate Frame>Coord 0，Vector Coordinates List 中输入<0.6 0 0.06>，不选 Auto Execute，Origin Coordinates List 中是输入[0 0 0]，单击 Apply 按钮，生成 Surface1。Transform>Surface>Translate，Type of Transformation： Catersian in Refer. CF, Refer. Coordinate Frame > Coord 0，Translation Vector 选中 Auto Update Magnitude，Direction Vector 中输入<0,0.03 0>,在 Translation Parameters Repeat Count 中输入 1，不选中 Delete Original Surface 和 Auto Execute，Surface List 中输入 Surface 1，单击 Apply 按钮，生成 Surface2。

（2）生成三维实体。点击 Select Solids 下的 Surface （Create> Solid> Surface），Option>2Surface，不选中 Auto Execute，Starting Surface List 中输入 Surface1，Ending Surface List 中输入 Surface2，单击 Apply 按钮，生成实体。单击 Smooth Shaded 按钮，然后单击改变视图显示，生成的实体如图 15-2 所示。

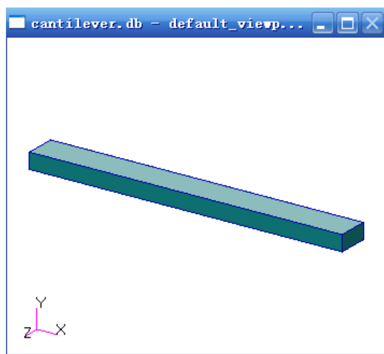


图 15-2　生成的几何体

15.2.3 划分有限元网格

（1）创建网格种子。单击 ***Meshing*** 应用工具按钮，开始创建有限元模型。点击 Mesh Seeds 下的图标（Create>Mesh Seed>Uniform），选中 Number Of Elements，Number 设为 20，选中 Auto Execute，在 Curve List 选项中选择 Surface1.1，重复以上步骤，Number 设为 2，在 Curve List 选项中选择 Solid1.1.1，Number 设为 2，在 Curve List 选项中选择 Surface2.4。

（2）划分网格。点击 Meshers 下的图标（Create >Mesh>Solid），在 Elem Shape 选择 Hex，Mesher 选择 IsoMesh，Topology 选择 Hex8，在 Input List 中，选择实体 Solid1，在 Global Edge Length 框中，输入 Value 值为 0.2，单击 Apply，完成划分有限元网格，创建完成的有限元模型如图 15-3 所示。

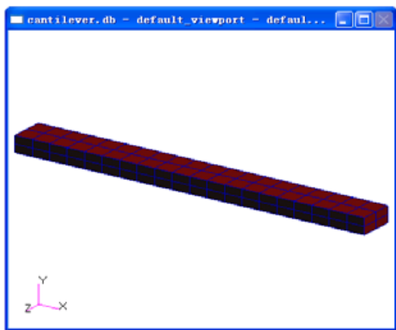


图 15-3　有限元网格图

15.2.4 创建工况

单击 ***Loads/BCs*** 下的 Load Case 图标，Action>Create，在 Load Case Name 中输入 load1,选中 Make Current，Load Case Type 选择 Time Dependent，单击 Apply 按钮。

15.2.5 定义场

单击 ***Loads/BCs*** 中 LBC Fields 下的图标，选项卡 Create>Non Spatial>Tabular Input, Field Name 框中输入 f1，Table Definition 选项中选择 Frequency（f），单击 Options 按钮，在 Data 表中输入以下信息，Freq（f）:20，Value:1，第 2 行输入 Freq（f）:1000，Value:1，单击 OK、Apply 完成创建。

15.2.6 设置边界条件及载荷

（1）设置边界条件。单击 ***Loads/BCs*** 下的 Displacement Constraint 应用工具按钮

（Create>Displacements>Nodal）。在 New Set Name 选项中输入 SPC，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>和 Rotations<R1 R2 R3>输入框中，输入<0 0 0>,单击 OK。单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，选中模型的一侧面 Solid 1.3，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

（2）施加载荷。单击 Force 图标（Create>Force>Nodal），New Set Name 框中输入 force，单击 Input Data 按钮，Force<F1 F2 F3>输入框中输入<0 1 0>，在* Time/Freq. Dependence 输入框中选择 f1，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region 按钮，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，Select Node 选项中，选择 Node 188，单击 Add、OK、Apply 按钮。施加边界条件和载荷的有限元模型如图 15-4 所示。

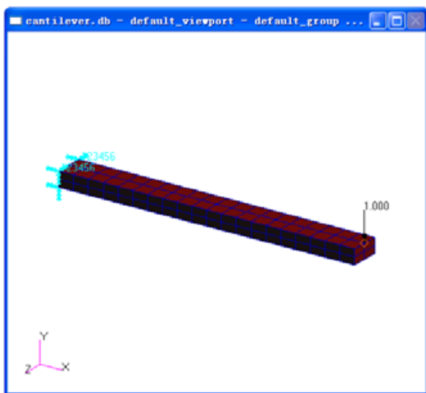


图 15-4 施加边界条件后的模型

15.2.7 定义材料属性

单击 ***Properties*** 应用工具按钮，点击 Isotropic 图标，（Create> Isotropic> Manual Input），Material Name:elastic，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Elastic Modulus 中输入 7.0e10，在 Poisson Ratio 中输入 0.3，在 Density 中输入 2.8e3，单击 OK、Apply，完成材料的创建。单击 ***Properties*** 应用工具按钮下 3D Properties 图标（Action>3D>Solid），在 Property Set Name 中输入 Solid，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 Elastic，单击 OK；在 Application Region 选项框，选择 Solid1，点击 Add、Apply，完成定义单元属性。

15.2.8 进行分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，点击图标（Analyze>Entire Model>Full Run），打开 Solution Type 按钮，选择求解类型为 FREQUENCY RESPONSE，在 Formulation 选项中选择 Direct（直接法求解），单击 Solution Parameters 按钮，Mass Calculation 设置为 Couple，Wt.－Mass Conversion 设置为 1.0，Struct. Damping Coeff.设置为 0.1，如图 15-5

所示，连续单击 OK 按钮，单击 Subcases …按钮，在 Available Subcases 选项组中选中 load1，单击 Subcase Parameters 按钮，单击 DEFINE FREQUENCIES 按钮，在 Start Freq. 中输入 20，在 Ending Freq 中输入 1000，No. Incr. 设置 49，如图 15-6 所示，连续两次单击 OK 按钮，单击 Apply、Cancel 按钮，单击 Subcase Select…，在 Subcase Selected 选项组中选择 Default 选项，在 Subcase Solution For Solution Sequence 选项组中选择 load1 选项，单击 OK 按钮，接着单击 Apply 按钮，弹出 Natran 计算对话框，开始计算求解。

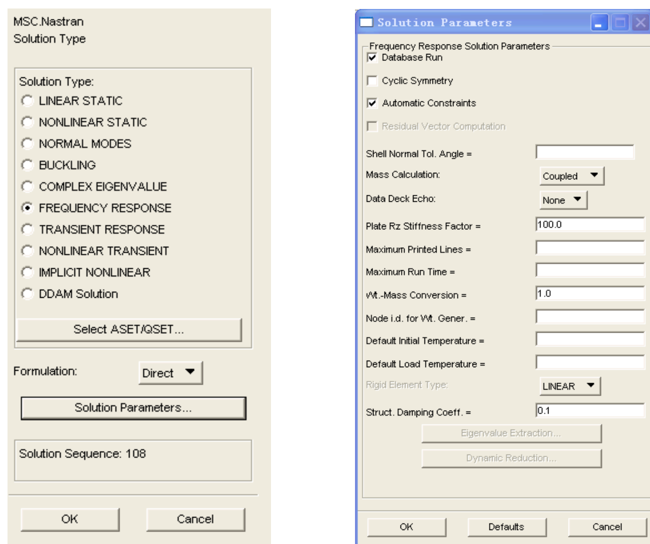


图 15-5　求解类型及参数设置

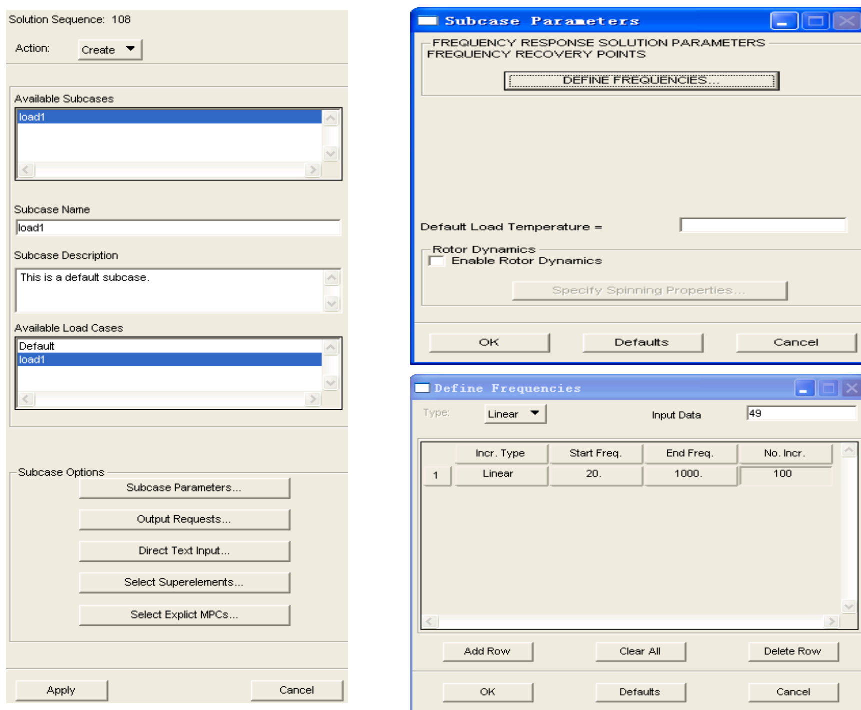


图 15-6　定义频率面板

15.2.9 查看分析结果

（1）读取计算结果。在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，点击 Access Results 下的图标 （Access Results>Attach XDB>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 cantilever.xdb，单击 OK、Apply。

（2）显示节点位移响应图（以 node 188 为例）。单击 ***Results*** 应用工具按钮，Create>Graph>Y vs X，单击 Select Result 图标，在 Select Result Case（s）中选择 load1，0 of 101 subcases，单击 Select Subcases 按钮，Filter Method 选择 All，单击 Filter、Apply、Close 按钮，在 Select Y Result 选项中选择 Displacement，Translational 选项，Quantity 选项中选择 Y component，X 坐标设置为 Global Variable，Variable 选项设置为 Frequency，单击 Target Entity 图标，选择 Node188，单击 Apply，单击图标，Y Axis Scale 设置为 Log，单击图标，complex No. as: Magnitude，单击 Apply 按钮，节点 188 的位移响应图如图 15-7 所示。

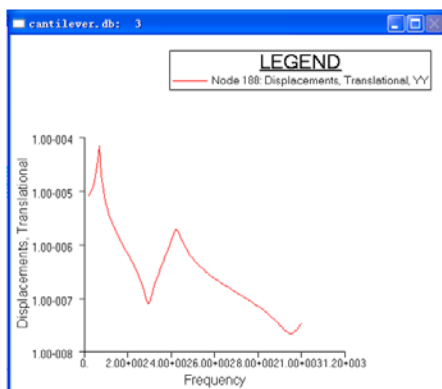


图 15-7 位移响应图

15.2.10 使用模态分析法求解

（1）在 ***Analysis*** 应用工具按钮，删除原计算结果及任务。点击 Delete 下的图标（Delete>job），在 Existing Jobs 选项框中选择 cantilever，单击 Apply 按钮；Delete>XDB Attachment，在 Existing Files 选项框中选择 cantilever.xdb，单击 Apply 按钮，单击 Yes For All 按钮，并在 Natran 计算目录下删除 cantilever.xdb 文件。

（2）分析求解。单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，点击 Analyze 下的图标（Analyze>Entire Model>Full Run），打开 Solution Type 按钮，选择求解类型为 FREQUENCY RESPONSE，在 Formulation 选项中选择 Modal（模态分析法求解），单击 Solution Parameters 按钮，Mass Calculation 设置为 Couple，Wt.－Mass Conversion 设置为 1.0，而 Struct. Damping Coeff.选项不填，连续单击 OK、OK 按钮，单击 Subcases …按钮，在 Available Subcases 选项组中选中 load1，单击 Subcase Parameters 按钮，单击 DEFINE

FREQUENCIES 按钮，在 Start Freq.中输入 20，在 Ending Freq 中输入 1000，No. Incr. 设置 49，单击 OK 按钮，在 Modal Damping 选项中选择 Crit. Damp.（CRIT），单击 DEFINE MODAL DAMPING 按钮，在第一行 Frequency 中输入 20，Value 输入 0.05，单击 Add Row 按钮，第二行 Frequency 中输入 1000，Value 输入 0.05，如图 15-8 所示，连续两次单击 OK 按钮，单击 Apply、Cancel 按钮，单击 Subcase Select…，在 Subcase Selected 选项组中选择 Default 选项，在 Subcase Solution For Solution Sequence 选项组中选择 load1 选项，单击 OK 按钮，接着单击 Apply 按钮，弹出 Natran 计算对话框，开始计算求解。

（3）读入分析结果。在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，点击 Access Results 下的图标（Access Results>Attach XDB>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 cantilever.xdb，单击 OK、Apply。

（4）显示节点位移响应图（以 node 188 为例）。单击 ***Results*** 应用工具按钮，Create>Graph>Y vs X，单击 Select Result 图标，在 Select Result Case（s）中选择 load1，0 of 101 subcases，单击 Select Subcases 按钮，Filter Method 选择 All，单击 Filter、Apply、Close 按钮，在 Select Y Result 选项中选择 Displacement，Translational 选项，Quantity 选项中选择 Y component，X 坐标设置为 Global Variable，Variable 选项设置为 Frequency，单击 Target Entity 图标，选择 Node188，单击 Apply，单击图标，Y Axis Scale 设置为 Log，单击图标，complex No. as: Magnitude，单击 Apply 按钮，节点 188 的位移响应图如图 15-9 所示。

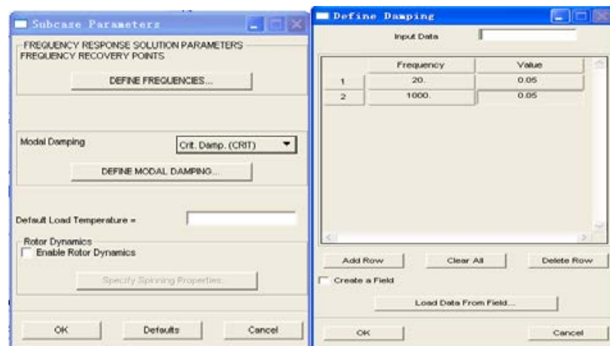


图 15-8　定义阻尼



图 15-9　位移响应图

15.3　汽车车身的频率响应分析

本例计算某汽车车身在周期性载荷作用下的频率响应。外载为一单位集中载荷，通过 MPC 单元将载荷传递至车身，激励频率范围为 1.0～1000.0Hz，采用模态叠加法求解。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\car.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\car.bdf。

15.3.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击命令栏 File/New，输入数据库文件名 car.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code= Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

（3）点击菜单栏 File/Import，在如图 15-10 所示的 Import 对话中，设置 Object=Model，Source=MSC.Nastran Input，选择 car.bdf 文件，点击 Apply 按钮以导入模型。出现 Nastran Input File Import Summary 文本框，文本框的主要内容包括节点、单元、坐标系、材料、单元属性等，点击 OK 按钮完成车身模型的导入，得到如图 15-11 所示的汽车车身网格模型。

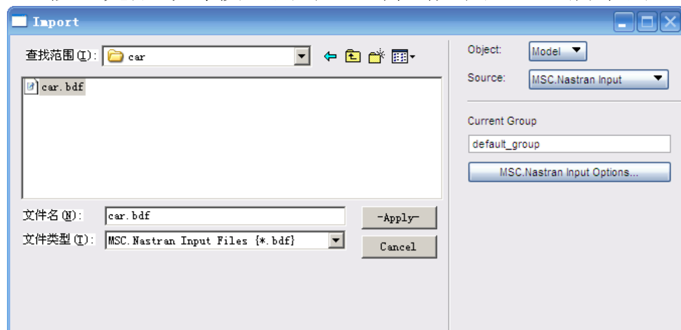


图 15-10 Import 对话框

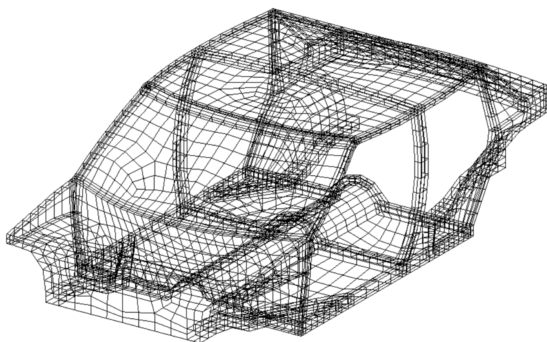


图 15-11 汽车车身网格模型

15.3.2 建立 MPC 单元

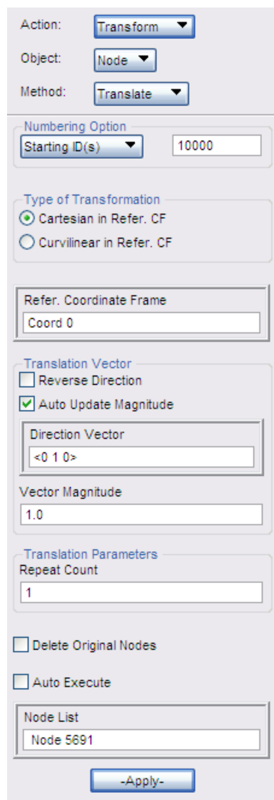
为了实现载荷传递，本节定义 MPC 单元用于单位载荷的传递。

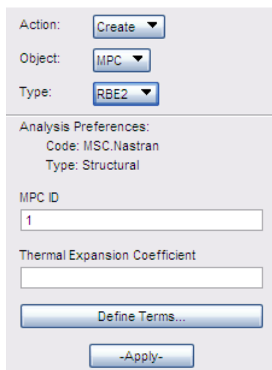
（1）点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 15-12 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Transform，Object=Node，Method=Translate。

（2）如图 15-12 所示，在 Starting ID 文本框中输入数值 10000，在 Director Vector 文本框中输入<0 1 0>，在 Node List 文本框中选择节点 Node 5691（或手动输入），点击 Apply 按钮生成节点。

（3）点击工具栏上的 Meshing 按钮，打开如图 15-13 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=MPC，Type=RBE2。

（4）如图 15-13 所示，点击 Define Terms…按钮，打开如图 15-14 所示的 Define Terms 页面，在页面中选择 Create Independent 选项，在 Node List 文本框中输入 node 10000，点击 Apply 按钮。





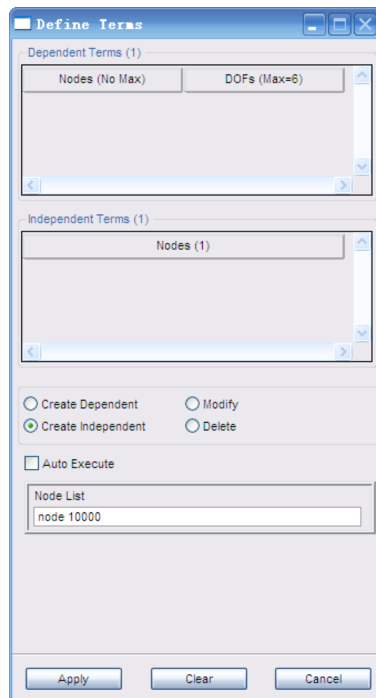


图 15-12　Finite Elements 页面　　图 15-13　Finite Elements 页面　　图 15-14　Define Terms 页面

（5）确认 Create Dependent 处于选择状态，在 Node List 文本框中输入 Node 5691 5688 5672 5632 5693，在 DOFs 列表中选择全部 6 个自由度，点击 Apply 按钮，点击 Cancel 按钮退出页面。

（6）点击 Apply 按钮生成 MPC 单元，得到如图 15-15 所示的有限元模型。

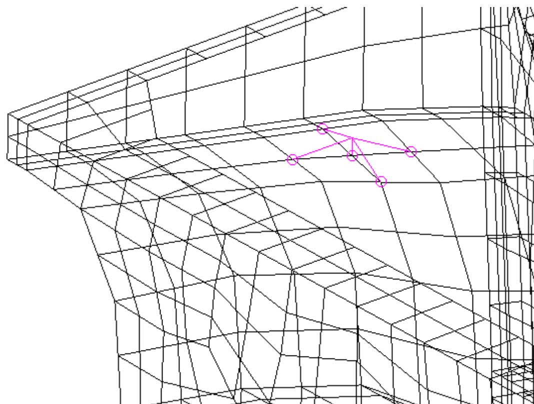


图 15-15　车身前部局部

15.3.3 建立动态工况

（1）点击工具栏上的 Loads/BCs 按钮，打开如图 15-16 所示的 Load Cases 页面，设置 Action=Create。

（2）如图 15-16 所示，在 Load Case Name 文本框中输入 frequency_response，设置 Type=Time Dependent，点击 Apply 按钮生成动态工况。

15.3.4 建立频响表

为了实现频响分析，需要首先定义随频率变化的表。

（1）点击工具栏上的 Properties 按钮，打开如图 15-17 所示的 Fields 页面，依次设置 Action=Create，Object=Non Spatial，Method=Tabular Input。

（2）如图 15-17 所示，在 Field Name 文本框中输入 unit_load，勾选 Frequency(f)选项。

（3）如图 15-17 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 15-18 所示的 Non Spatial Scalar Table Data 页面。在 Non Spatial Scalar Table Data 页面中填写如图 15-18 所示的数值，其中频率范围为 1.0～1000.0Hz，点击 OK 按钮退出页面。

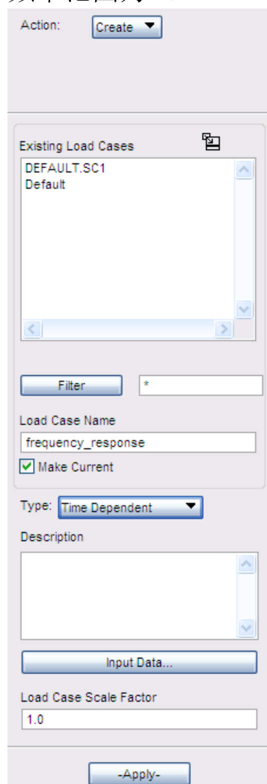


图 15-16 Load Cases 页面

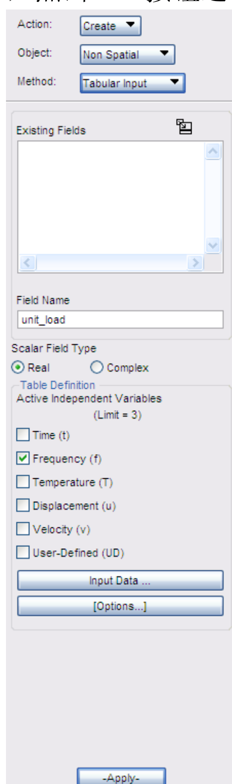


图 15-17 Fields 页面

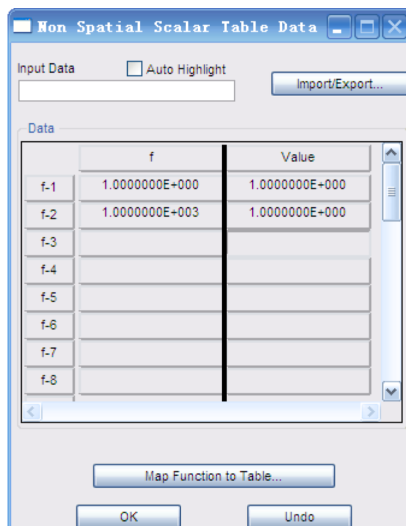


图 15-18 Non Spatial Scalar Table Data 页面

（4）如图 15-17 所示，点击 Apply 按钮生成频响表。

15.3.5 定义载荷边界条件

（1）点击工具栏上的Loads/BCs按钮，打开如图15-19所示的Load/Boundary Conditions页面，依次设置 Action=Create，Object=Force，Method=Nodal。

（2）如图 15-19 所示，在 Field Name 文本框中输入 unit force。

（3）如图 15-19 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 15-20 所示的 Input Data 页面，在 Force<F1 F2 F2>文本框中输入<0 -1 0>，在后面的文本框中选取 unit_load，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 15-19 所示，点击 Select Application Region….按钮，打开如图 15-21 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中输入 node 10000，点击 Add 按钮添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

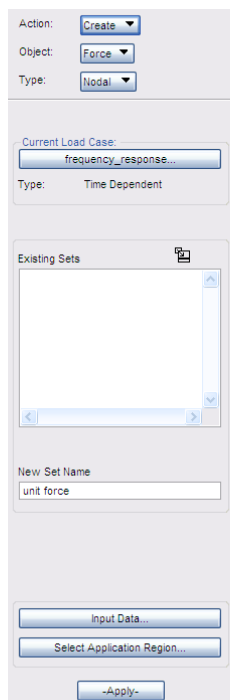


图 15-19　Load/Boundary Conditions

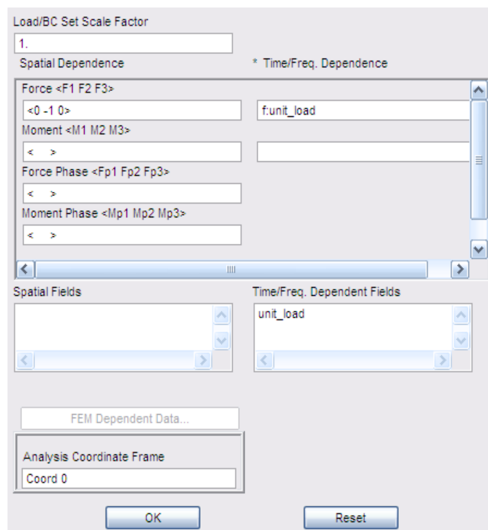


图 15-20　Input Data

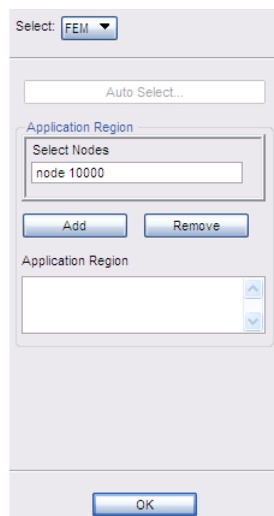


图 15-21　Select Application Region

（5）如图 15-19 所示，点击 Apply 按钮生成载荷边界条件。

15.3.6 分析求解设置

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 15-22 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Objective=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 15-22 所示，在 Job Name 文本框中输入 car_frequency_response。

（3）如图 15-22 所示，点击 Soluton Type…按钮，打开如图 15-23 所示的 Solution Type

页面。选择 FREQUENCY RESPONSE 选项，设置 Formulation=Modal。注意到 Solution Sequence: 111，表示基于模态叠加法的频响分析的求解序列为 111。

（4）如图 15-23 所示，点击 Solution Parameters…按钮，打开如图 15-24 所示的 Solution Parameters 页面。

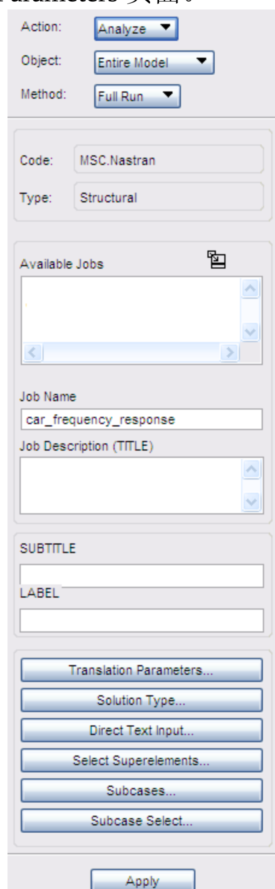


图 15-22 Analysis 页面

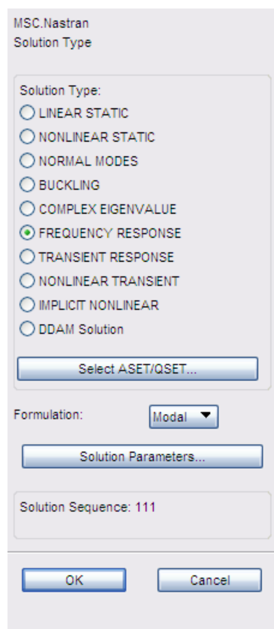


图 15-23 Solution Type 页面

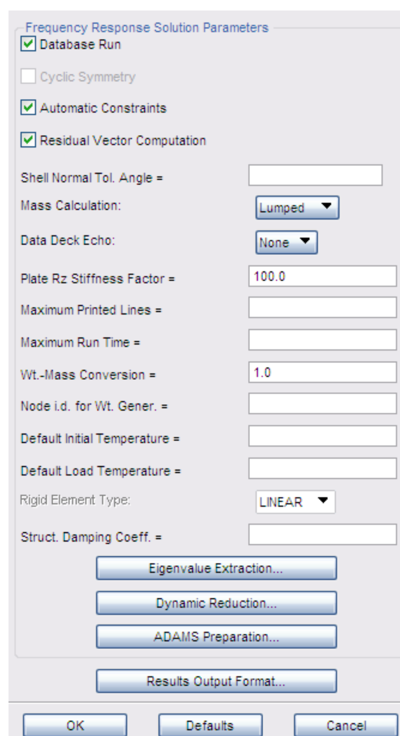


图 15-24 Solution Parameters 页面

（5）如图 15-24 所示，点击 Eigenvalue Extraction…按钮，打开如图 15-25 所示的 Eigenvalue Extraction 页面，设置频率下限值 Lower=1，连续点击三次 OK 按钮退出页面。

提示：如果可预估结构频率上下限值，或者关心的频率范围，可以设置上下限值。

（6）如图 15-22 所示，点击 Subcase…按钮，打开如图 15-26 所示的 Subcases 页面，在 Available Subcases 列表中选择双击 frequency_response。

（7）如图 15-26 所示，点击 Subcase Parameters…按钮，打开如图 15-27 所示的 Subcase Parameters 页面。

（8）如图 15-27 所示，点击 DEFINE FREQUENCIES…按钮，打开如图 15-28 所示的 Define Frequencies 页面，设置如图 15-28 所示的数值，点击 OK 按钮退出页面。

（9）如图 15-27 所示，设置 Modal Damping=Struct. Damp. (G)，点击 DEFINE MODAL DAMPING…按钮，打开如图 15-29 所示的 Define Damping 页面，进行如图 15-29 所示的设置。其中当增加行数据时，点击 Add Row 按钮完成设置。最后连续两次点击 OK 按钮退出页面。

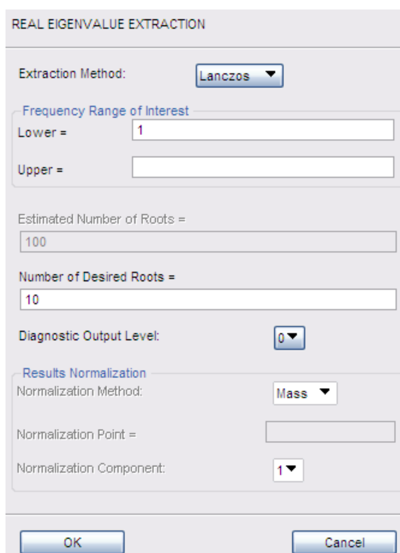


图 15-25　Eigenvalue Extraction 页面

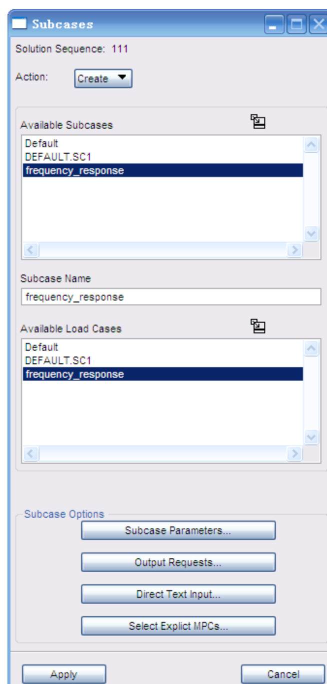


图 15-26　Subcases 页面

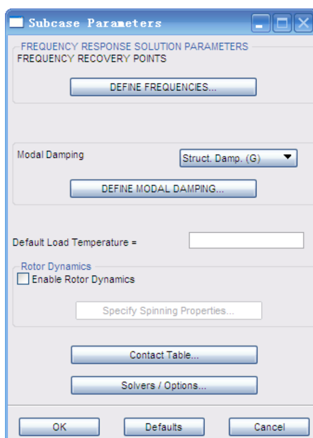


图 15-27　Subcase Parameters 页面

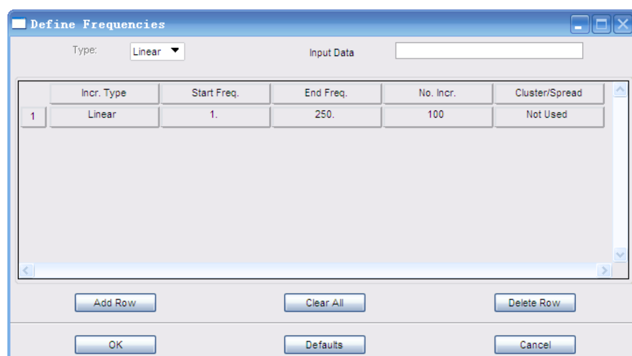


图 15-28　Define Frequencies 页面

（10）如图 15-26 所示，点击 Apply 按钮完成设置，点击 Cancel 按钮退出页面。

（11）如图 15-22 所示，点击 Subcase Select…按钮，打开如图 15-30 所示的 Subcase Select 页面，在 Subcases Selected 列表中选择 Default，在上面列表中点选 frequency_response 使其出现在 Subcases Selected 列表中，点击 OK 按钮退出页面。

（12）如图 15-22 所示，点击 Apply 按钮生成 car_frequency_response.bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择上述 bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行 bdf 文件，直至分析求解结束。

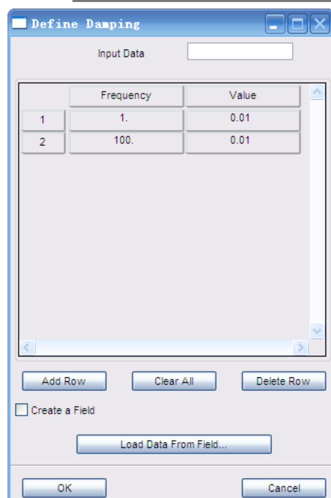


图 15-29　Define Damping 页面

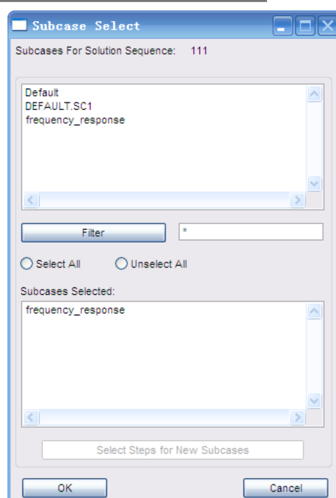


图 15-30　Subcase Select 页面

15.3.7 结果后处理

（1）在如图 15-31 所示页面中，重新依次设置 Action=Attach XDB，Object=Result Entities，Method=Local。

（2）如图 15-31 所示，点击 Select Results File…按钮，选择 car_frequency_response.xdb，点击 OK 按钮，点击 Apply 按钮实现结果文件的关联。

（3）点击工具栏上的 Results 命令，打开如图 15-32 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Graph，Method=Y vs X。

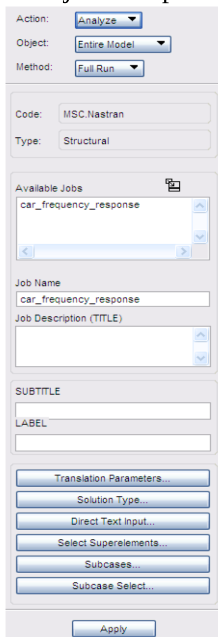


图 15-31　Analysis 页面

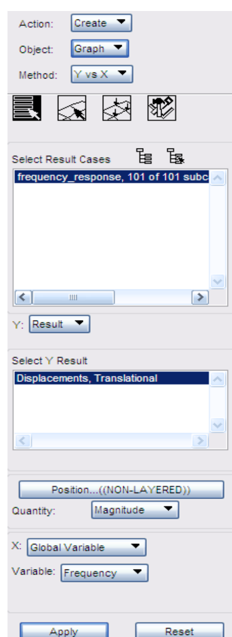


图 15-32　Results 页面

（4）如图 15-32 所示，在 Select Result Case 列表中选择 frequency_response, 0 of 101 subcases; THIS IS A DEFAULT SUBCASE。

（5）在 Select Result Cases 页面中，点击 Filter 按钮， Select Result Case(s)列表如图 15-33 所示，点击 Apply 按钮，点击 Close 按钮退出页面。

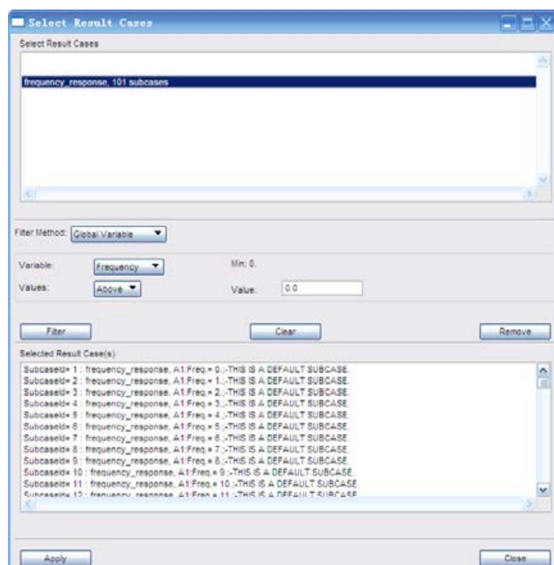


图 15-33　Select Result Cases 页面

（6）如图 15-32 所示，在 Select Y Result 列表中选择 Displacements, Translational。

（7）如图 15-34 所示，点击 Target Entities 图标，打开如图 15-34 所示的 Result 页面，在 Select Nodes 文本框中输入 Node 7858 8796 8640。

（8）如图 15-35 所示，点击 Display Attribute 图标，打开如图 15-35 所示的 Result 页面。设置 Y Axis Scale=Log，点击 Apply 按钮，得到如图 15-36 所示的频率响应结果。

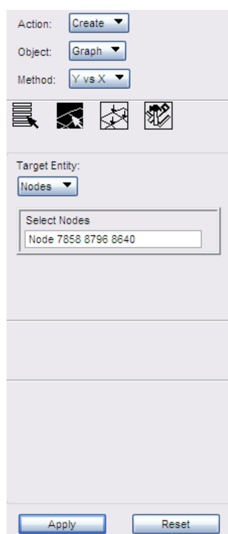


图 15-34　Results 页面

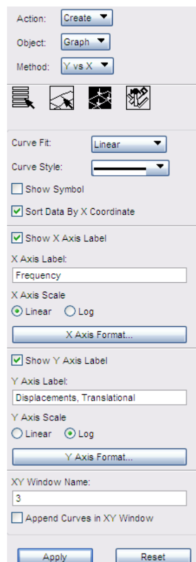


图 15-35　Results 页面

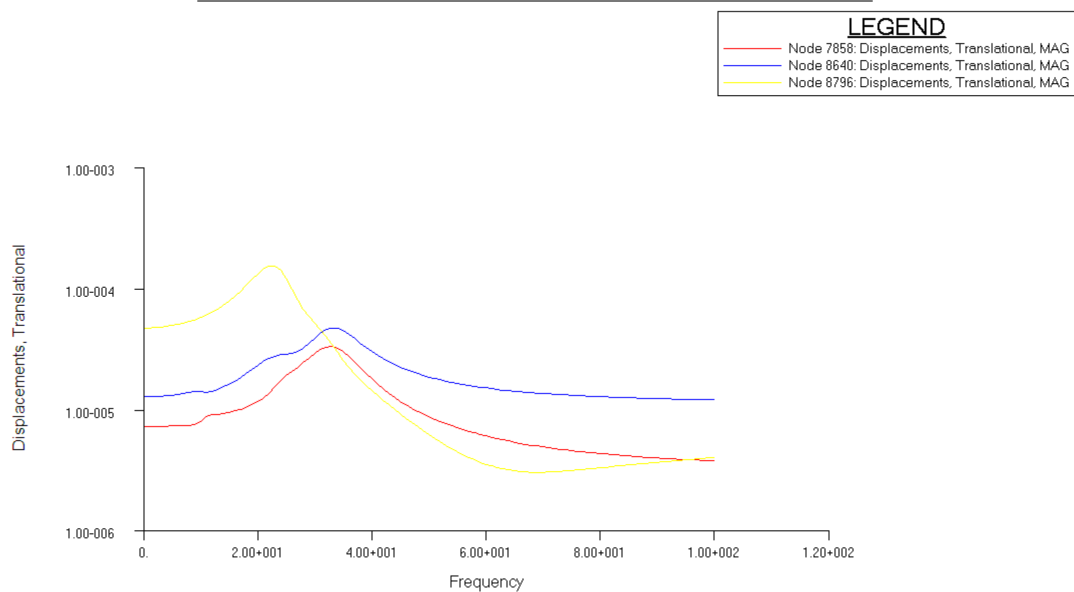


图 15-36　节点位移的频响结果

第 16 章　随机响应分析

内容导航



随机响应分析是用于考虑结构在某种统计规律分布的载荷作用下的随机响应，这种载荷的大小在任何时刻都不能明确给出，只能得到载荷按概率分布的函数。

通过本章的学习，读者可以了解使用 Patran 和 Nastran 进行随机响应分析的分析流程以及各参数的设置，完整深入掌握随机响应分析的功能和方法。

重点剖析

* 随机响应分析概述
* 平板随机响应分析实例
* 卫星随机振动分析实例

16.1　随机响应分析及其步骤

随机响应分析的基本步骤可分为两步，第一步是进行频率响应分析；第二步是用 MSC.Random 进行随机响应分析。详细步骤如下：

（1）创建或读入几何模型。

（2）划分有限元网格。

（3）创建工况。

（4）创建点单元，应用大质量。

（5）定义场。

（6）创建边界条件及载荷。

（7）定义材料属性。

（8）定义单元属性。

（9）提交 Nastran 进行频率响应分析。

（10）创建随机分析的非空间场。

（11）打开 Random，创建随机载荷。

（12）随机响应分析及结果后处理。

16.2　平板随机响应分析

如图 16-1 所示为平板的有限元模型及载荷与边界条件，对该平板进行随机响应分析，载荷为施加在基础上的 PSD 加速度。分析问题求解过程如下。

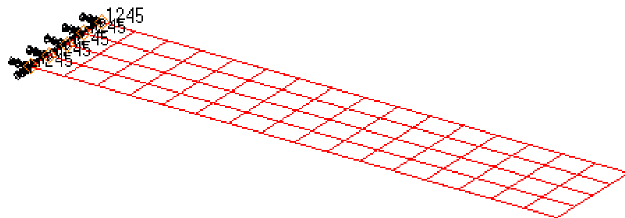


图 16-1　模型图

16.2.1 创建一个数据文件

单击🗋按钮，或选择菜单 File>New 命令，输入文件名 random，单击 OK 创建数据文件 Random.db。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Structural。

16.2.2 导入数据模型

选择菜单 File>Import，Source 选择 MD Nastran Input 作为输入文件，选择 random1.bdf，单击 Apply 按钮，当 Patran 数据文件输入的信息摘要出现时，单击 OK 按钮，导入的模型如图 16-2 所示。

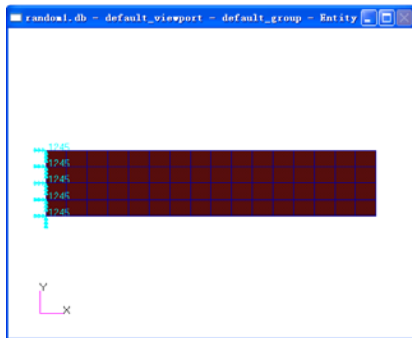


图 16-2　导入模型图

16.2.3 创建有限元模型

（1）创建节点。单击 ***Meshing*** 中 Element 下的按钮（Action>Create, Object>Node，Method>Edit），在 Node ID List 中将节点号设置为 9999，不选择 Associate with Geometry，

在 Node Location List 中输入[-0.05 0.05 0]，单击 Apply 按钮，如图 16-3 所示。接下来创建点单元 Action>Create，Object>Element，Method>Edit，shape 和 Topology 选项都设置为 Point，选择节点 9999，如图 16-4 所示。

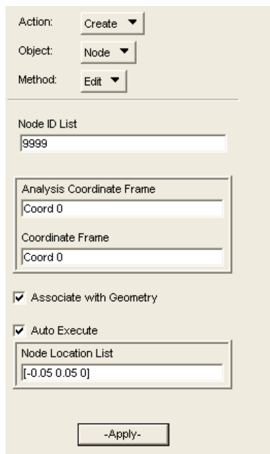


图 16-3　创建节点

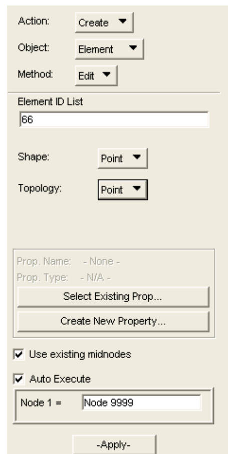


图 16-4　创建点单元

（2）创建多点约束。点击 MPC 下工具按钮 RBE2（Action>Create，Object>MPC，Type>RB2），单击 Define Terms 按钮，为依赖节点选择除了 Z 方向的转动自由度（RZ）以外的所有自由度（UX、UY、UZ、RX、RY），如图 16-5 所示，然后选择平面边界上的点，如图 16-6 所示，单击 Apply，然后选取前面创建的节点 9999 作为独立节点如图 16-7 所示，依次单击 Apply、Cancel、Apply 按钮，完成多点约束的创建，创建多点约束后的视图如图 16-8 所示。

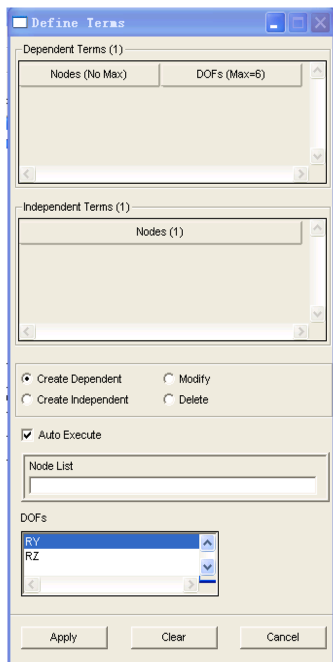


图 16-5　创建非独立节点

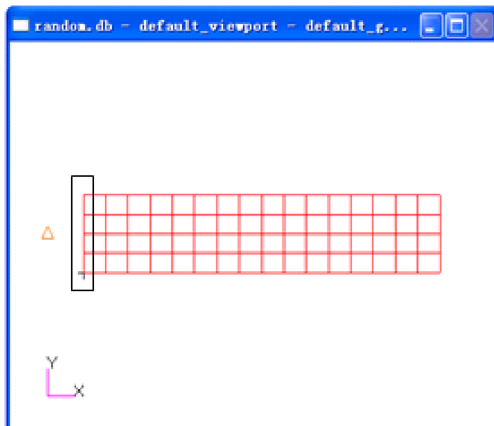


图 16-6　创建独立节点

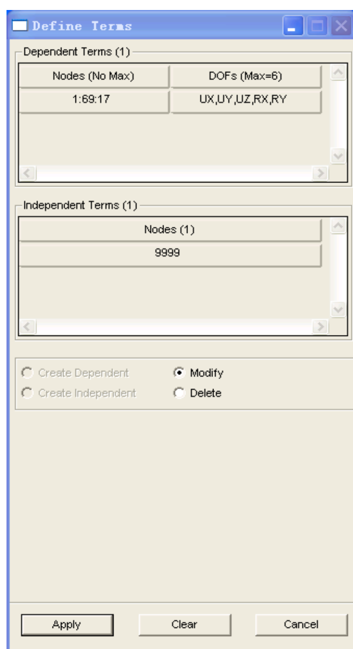


图 16-7　选择非独立节点

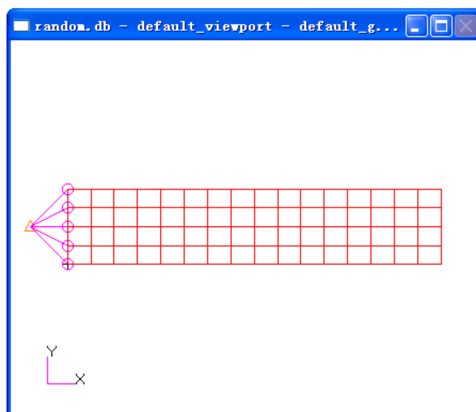


图 16-8　创建 MPC 的视图

16.2.4 设置随频率变化的单位载荷

为集中力创建一非空间场。单击 ***Loads/BCs*** 下 LBC Fields 中的应用工具按钮（Action>Create, Object> Non Spatial, Method>Tabular Input），在 Field Name 里输入 f1，在 Active Independent Variables 中选择 Frequency（f），单击 Input Data 按钮，在弹出的对话框中输入图 16-9 所示的数据， 单击 OK、Apply 完成非空间场的创建。

16.2.5 创建载荷工况

单击 ***Load/BCs*** 下的 Create Load Case 应用工具按钮，Action>Create，在 Load Case Name 中输入 random，在 Type 中选择 Time Dependent，单击 Input Data 按钮，打开 Assign/Prioritize Loads/BCs 面板，在 Select Individual Loads/BCs 中单击 Displ_disp，如图 16-10 所示，单击 OK、Apply 按钮。

16.2.6 定义材料属性

单击 ***Properties*** 下的 Isotropic 应用工具按钮（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Mannual Input），Material Name: Mat1，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，

Constitutive Model 选择 Linear Elastic，在 Elastic Modulus 中输入 200e9，在 Poisson Ratio 中输入 0.3，Density 中输入 7800，单击 OK、Apply，完成材料的创建。

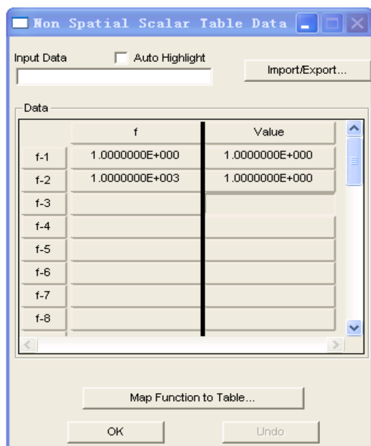


图 16-9　定义非空间场图

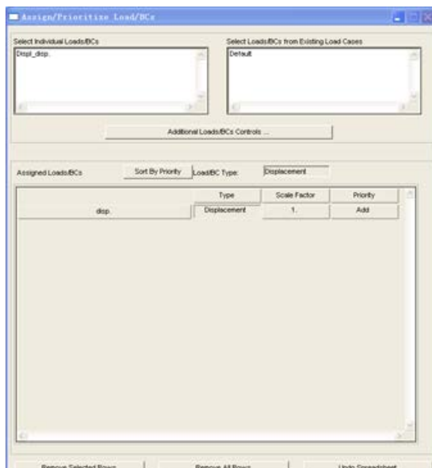


图 16-10　创建载荷工况

16.2.7 定义单元属性

单击 ***Properties*** 下 2D Properties 中应用工具按钮（Action>Create，Object>2D，Method>Shell），在 Property Set Name 中输入 Shell，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 MAT1，在 Thickness 选项中输入 0.01，单击 OK；在 Application Region 选项框，选择视图中的平面即 Surface1，点击 Add、Apply，完成定义 2D 单元属性；接下来定义 0D 单元属性，Action>Create，Object>0D，Type>Mass，在 Property Set Name 中输入 Mass，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mass 输入框中输入 1e8，如图 16-11 所示，单击 OK；在 Application Region 选项框，选择视图中的点单元 Elm65，点击 Add、Apply 按钮，完成 0D 单元属性的创建。

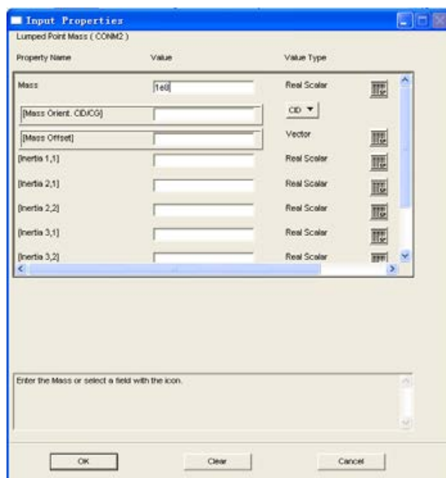


图 16-11　定义单元属性

16.2.8 创建载荷及修改边界条件

（1）创建一个随频率变化的集中力载荷。单击 ***Loads/BCs*** 下的 Force 应用工具按钮（Action>Create, Object>Force, Type>Nodal），在 New Set Name 里输入 force，单击

Input Data 按钮，在 Force 中输入 <, , 1e8>, 在 Time/Freq. Dependent Fields 中选择 field，单击 OK 按钮，然后单击 Select Application Region 按钮，改变 Geometry Filter 为 FEM，选择节点 9999，如图 16-12 单击 Add、OK、Apply，完成创建。

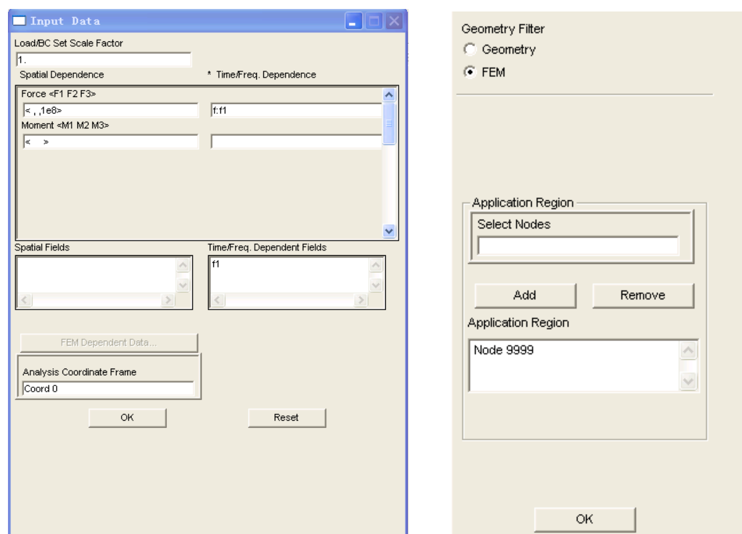


图 16-12　创建变化的集中力

（2）修改约束。点击图标，Action>Modify，Object>Displacement，Type>Nodal，在 Select Set to Modify 中选择 disp，单击 Modify Data 按钮，将 Translations 改为<0,0, >，将 Rotation 修改为 <0,0,0>，如图 16-13 所示，单击 OK 按钮，单击 Modify Application Region，删除其中的所有数据，并选择 Node9999，依次单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

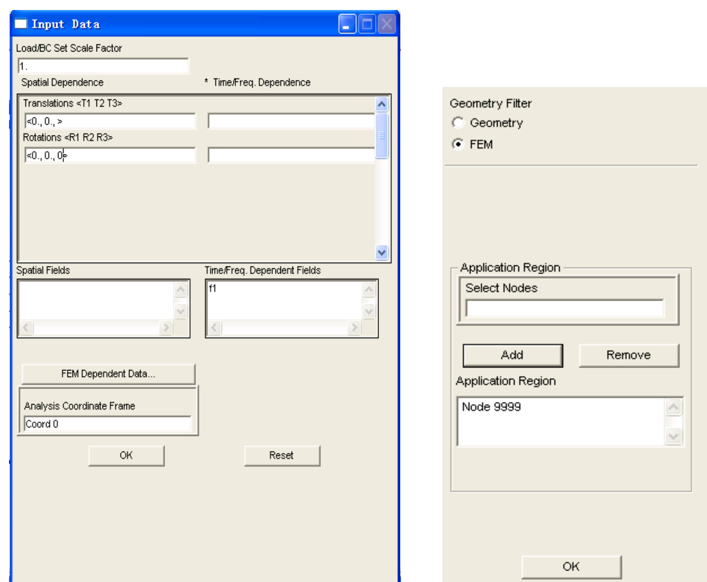


图 16-13　修改位移边界条件

16.2.9 进行分析

（1）单击 ***Analysis*** 应用工具按钮 （Action>Analyze，Object>Entire Model，Method> Full Run），打开 Solution Type 按钮，求解类型为 FREQUENCY RESPONSE，改变 Formulation 为 Modal，单击 Solution Parameters 按钮，在 Mass Calculation 中选择 Coupled，在 Wt-Mass Conversion 输入框中输入 0.00259，如图 16-14 所示，连续两次单击 OK 按钮。

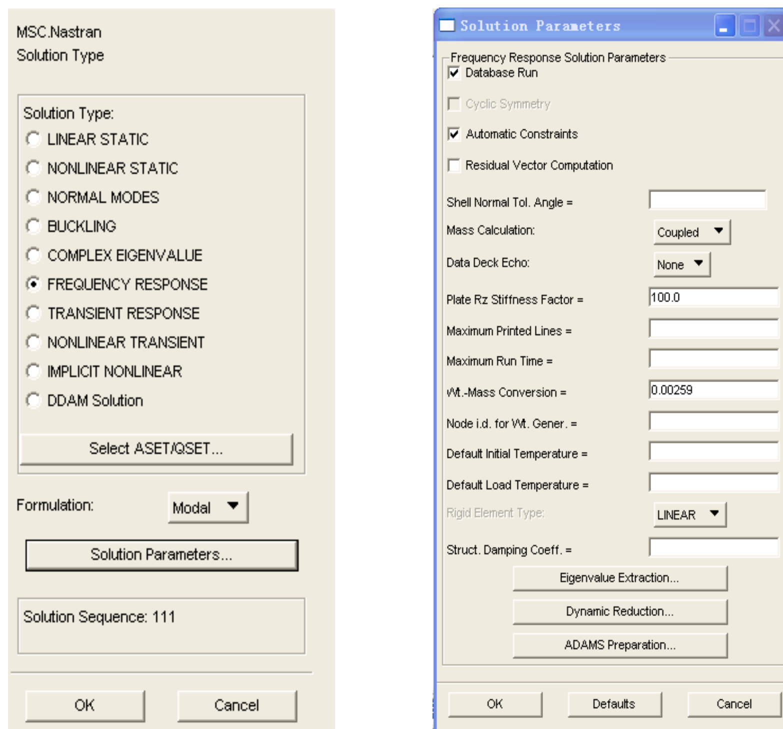
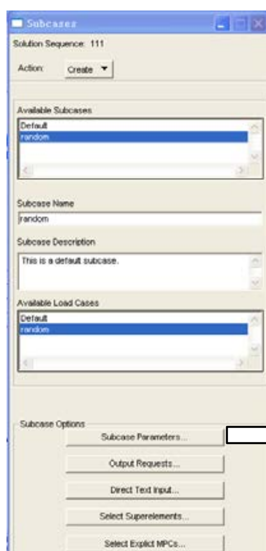


图 16-14　选择求解类型设置求解参数

（2）设置分析工况的参数。单击 Subcases 按钮，在 Available Subcases 中选择 random，如图 16-15 所示，单击 Subcase Parameters 按钮，如图 16-16 所示的面板，单击 DEFINE FREQUENCY 按钮，输入如图 16-17 所示的数值，单击 OK 按钮。在 Modal Damping 选项中，选择 Crit. Damp.（CRT），单击 DEFINE MODAL DAMPING 按钮，输入如图 16-18 所示的数据，连续两次单击 OK 按钮，完成分析工况参数的设置。

（3）设置控制输出参数。单击 Output Requests 按钮，在弹出的输出设置面板，在 Select Result Type 中选择 Accelerations，如图 16-19 所示，单击 OK、Apply、Cancel 按钮。

（4）选择分析工况。单击 Subcase Select 按钮，将 Default 移动到 Subcases For Solution Sequence：111 框中，然后将 random 移动到 Subcases Selected 框中，如图 16-20 所示，单击 OK、Apply 按钮，系统弹出 Dos 窗口，开始频率响应计算。



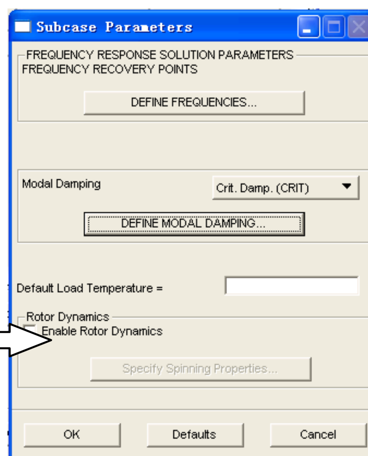


图 16-15 定义 Subcase　　图 16-16 定义 Subcase 参数

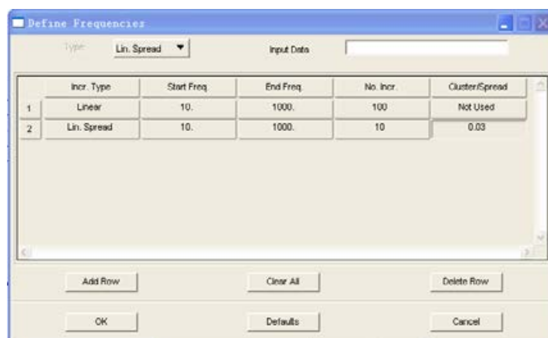


图 16-17 定义频率

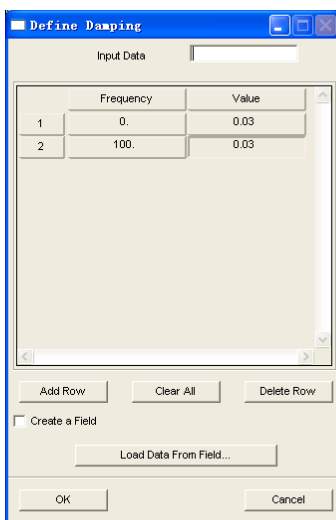




图 16-18 定义模态阻尼图　　图 16-19 输出设置

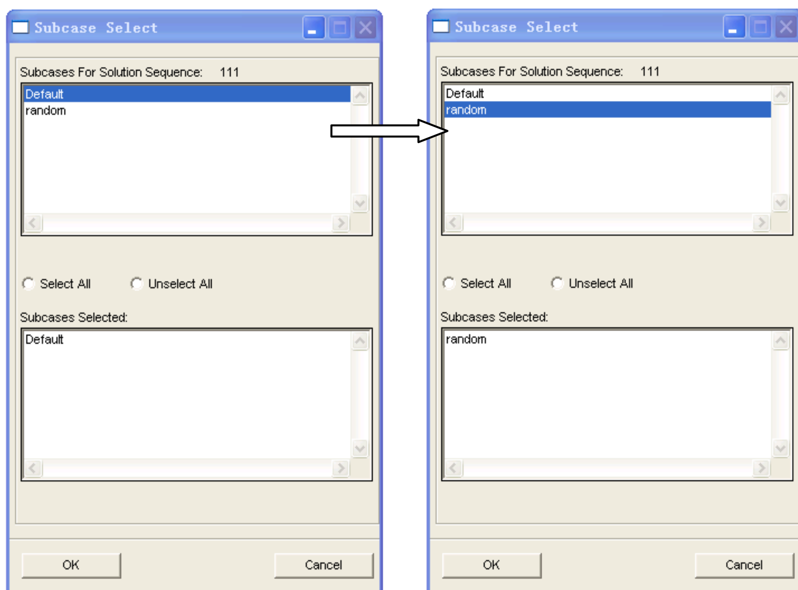


图 16-20　选择 Subcase

16.2.10 随机响应分析

（1）为随机分析创建一非空间场。单击 ***Loads/BCs*** 下的 LBC Fields 应用工具按钮，中的应用工具按钮（Action> Create, Object>Non Spatial, Method>Tabular Input)，在 Field Name 中输入 Random，在 Active Independent Variables 中选择 Frequency，单击 Input Data 按钮，创建施加在基础上的 PSD 加速度，输入如图 16-21 所示表中的数据，单击 OK、Apply 按钮。

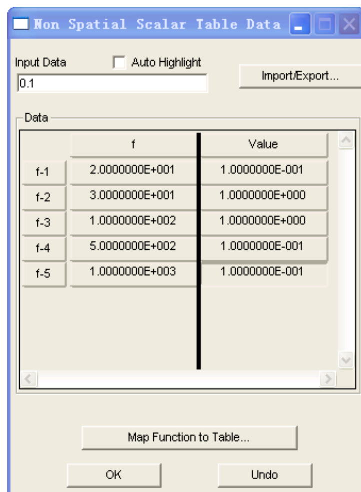


图 16-21　定义非空间场

（2）用 MSC.Random 进行随机分析。单击 Utilities/Applications/MSC. Random…菜单，Action 按钮选择 RMS Analysis，单击 Select XDB File 按钮，选择 random.xdb 文件，如图 16-22 所示，单击 Apply 按钮将频率响应结果文件读入；在 Patran 2010 （MD Enabled）窗

口右侧弹出的设置框如图 16-23 所示。单击 Random Input 按钮，弹出如图 16-24 所示的随机分析面板，选择 Random Input Method 为 Single Case，单击 Excited Set 输入框，在 Available Subcases 中选择 1：Random，单击 Input Field 输入框，面板左侧的窗口切换到 PSD Input fields 框，如图 16-25 所示，选择 Random，单击 Close、Apply 按钮。



图 16-22 调出随机响应分析

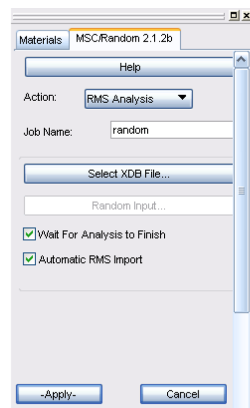


图 16-23 随机响应分析设置框

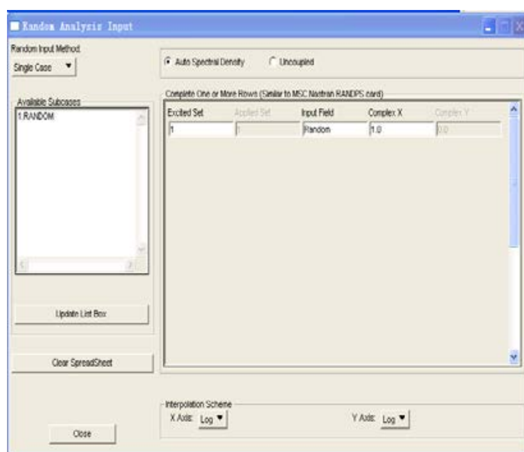


图 16-24 定义随机响应的输入

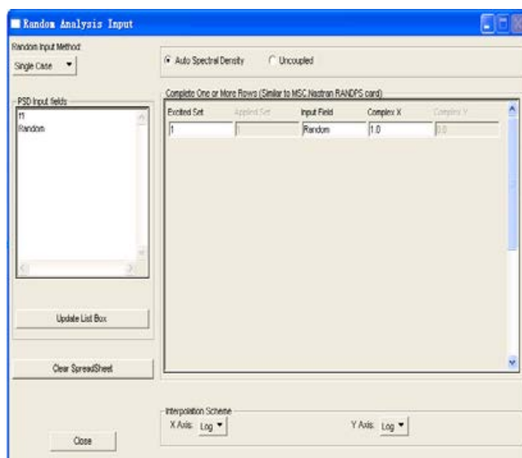


图 16-25 定义随机响应的输入

16.2.11 创建节点的 PSD 响应的 XY 曲线图

（1）显示类型为 PSDF。执行 Action>XY Plots，在 Select Nodes 输入框中输入大质量相关的节点 Node 9999，选择 Component 为 DOF3，改变 Plot Type 为 PSDF，如图 16-26 所示，单击 Apply 按钮，节点 9999 的 PSD 响应曲线如图 16-27 所示，然后选择 Node 67，单击 Apply 按钮，节点 67 的 PSD 响应曲线如图 16-28 所示。

（2）显示类型为 PSDF。执行 Action>XY Plots，在 Select Nodes 输入框中输入大质量相关的节点 Node 9999，选择 Component 为 DOF3，改变 Plot Type 为 CRMS，单击 Apply 按钮，节点 9999 的 PSD 响应曲线如图 16-29 所示，然后选择 Node 67，单击 Apply 按钮，节点 67 的 PSD 响应曲线如图 16-30 所示。

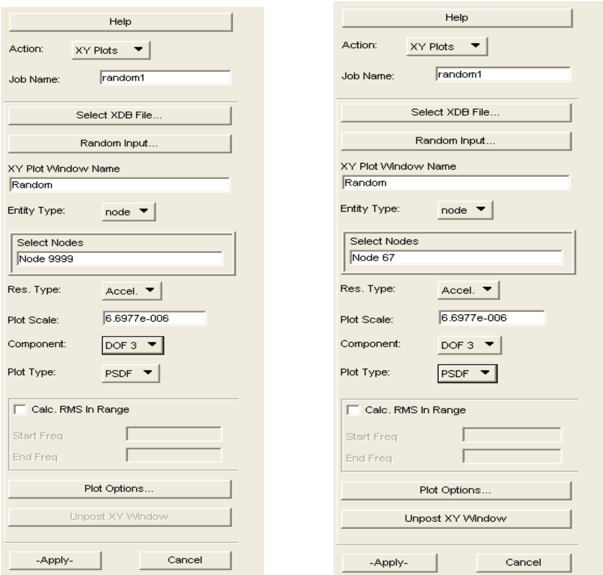


图 16-26　创建 XY 曲线面板

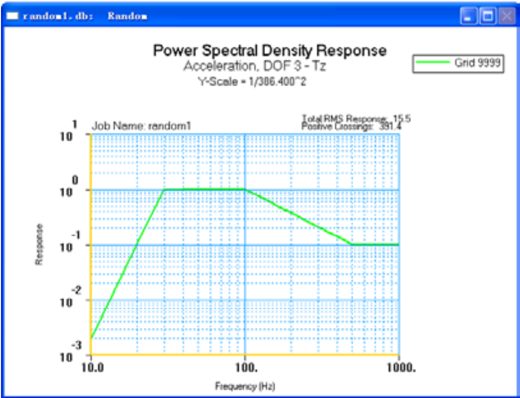


图 16-27　节点 9999 的 PSD 响应曲线（显示类型为 CRMS）

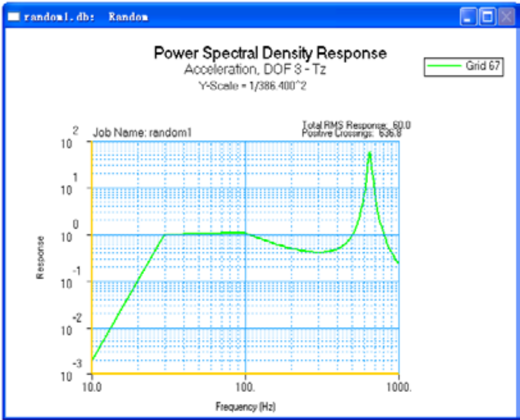


图 16-28　节点 67 的 PSD 响应曲线（显示类型为 CRMS）

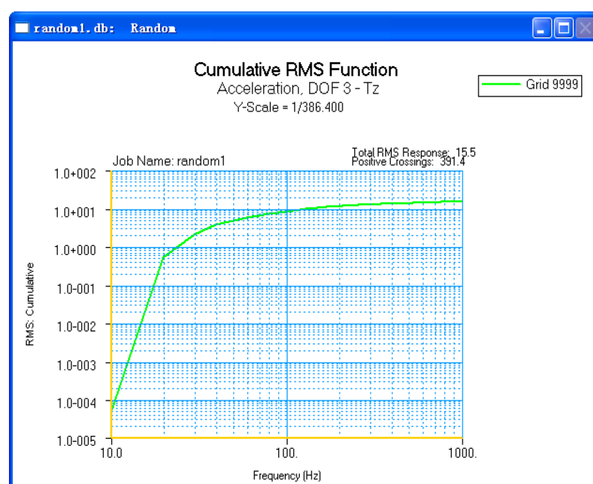


图 16-29　节点 9999 的 PSD 响应曲线（显示类型为 CRMS）

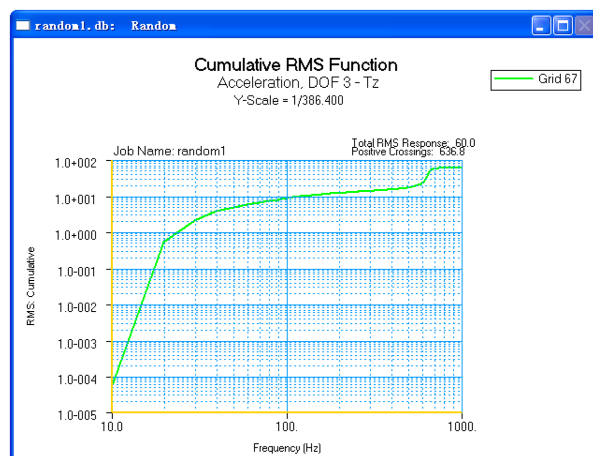


图 16-30　节点为 67 的 PSD 响应曲线（显示类型为 CRMS）

16.3　卫星的随机振动分析

以某卫星为例，首先进行模态频率响应分析，在卫星的底部施加两个方向的强迫加速度，激振频率范围为 1.0Hz-100.0Hz，临界阻尼系数为 0.02。其次进行随机振动分析，功率谱密度如表 16-1 所示。

表 16-1　强迫加速度功率谱

频率/Hz	功率谱密度/（g^2/Hz）
20	0.04
100	0.04
200	0.08
500	0.08
1000	0.02

在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\satellite.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\satellite.bdf。

16.3.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击命令栏 File/New，输入数据库文件名 satellite.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Default，Analysis Code= Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 按钮退出页面。

（3）点击菜单栏 File/Import，在 Source 下拉菜单中选择 MSC.Nastran Input 选项，选择 satellite.bdf 文件，点击 Apply 按钮。出现 Nastran Input File Import Summary 文本框，文本框的主要内容包括节点、单元、坐标系、材料、单元属性等。点击 OK 按钮完成卫星模型的导入，得到如图 16-31 所示的卫星网格模型。

16.3.2 创建频响分析表

（1）点击菜单栏的 Load/BCs 按钮，然后点击下面最右端的按钮。

（2）在如图 16-32 所示的 Fields 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Non Spatial，Method=Tabular Input。

（3）如图 16-32 所示，在 Field Name 文本框中输入 frequency response。

（4）如图 16-32 所示，选择 Frequency(f)选项，点击 Input Data…按钮，打开如图 16-33 所示的 Non Spatial Scalar Table Data 页面。

（5）如图 16-33 所示，在 Non Spatial Scalar Table Data 中输入如图 16-133 所示的数值。其中频率值范围为 1.0～100.0Hz，其数值大小为 1.0，点击 OK 按钮退出表定义。

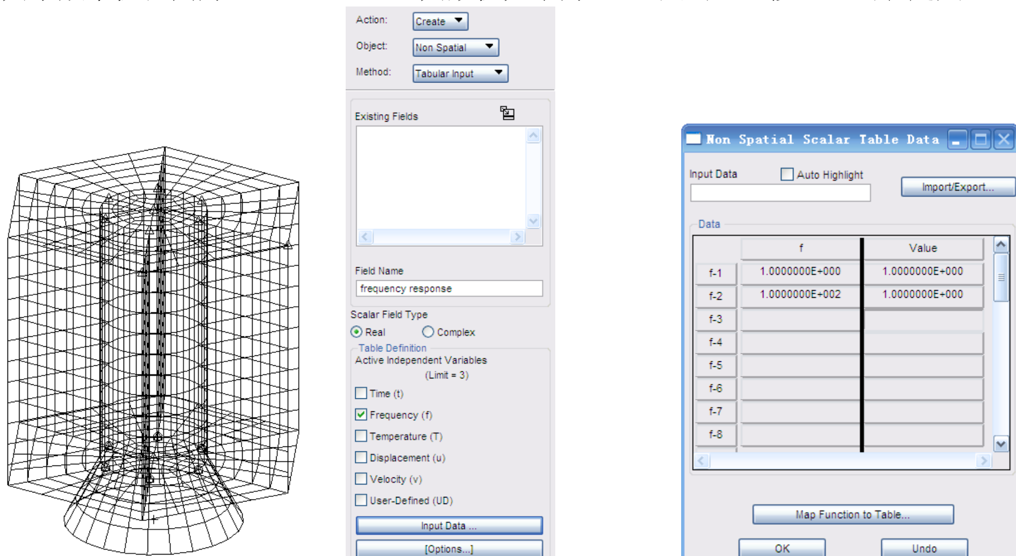


图 16-31　卫星网格模型　　图 16-32　Fields 页面图　　图 16-33　Non Spatial Scalar Table Data 页面

（6）如图 16-32 所示，点击 Apply 按钮以生成频率表。

16.3.3 创建动态工况

（1）点击创建工况的按钮，打开如图 16-34 所示的 Load Cases 页面，设置 Action= Create。

（2）如图 16-34 所示，在 Load Case Name 文本框中输入 vertical acceleration，设置 Type=Time Dependent。

（3）如图 16-34 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 16-35 所示的 Input Data 页面，在 Select Individual Loads/BCs 中，点击 Displ_spc1.3，确认出现在下面框中。点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 16-34 所示，点击 Apply 按钮以生成 vertical acceleration 工况。

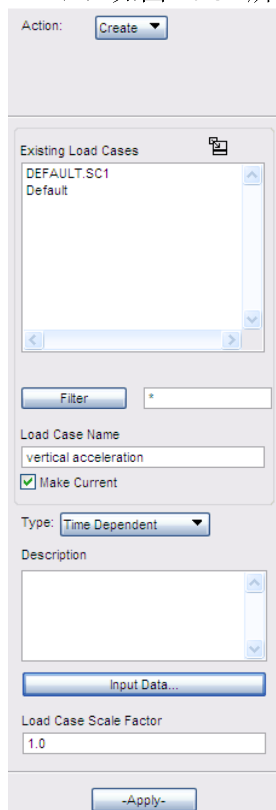


图 16-34　Load Cases 页面

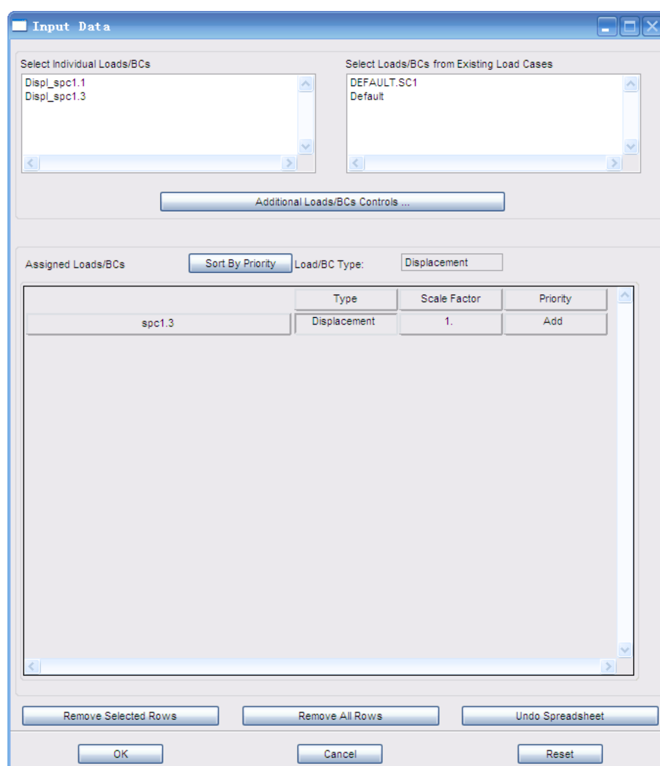


图 16-35　Input Data 页面

（5）采用相同的方法，定义名为 lateral acceleration 的工况，在如图 16-36 所示的 Input Data 页面中，首先点击 Remove All Rows 按钮以删除所有的边界工况。在 Select Individual Loads/BCs 中，点击 Displ_spc1.1。

16.3.4 定义强迫加速度

（1）点击按钮，以保证模型的显示方向。

（2）点击菜单栏上的 Load/BCs 按钮，打开如图 16-37 所示的 Load/Boundary Conditions

页面，依次设置 Action=Create，Object=Acceleration，Type=Nodal。

（3）如图 16-37 所示，在 New Set Name 文本框中输入 lateral acceleration。

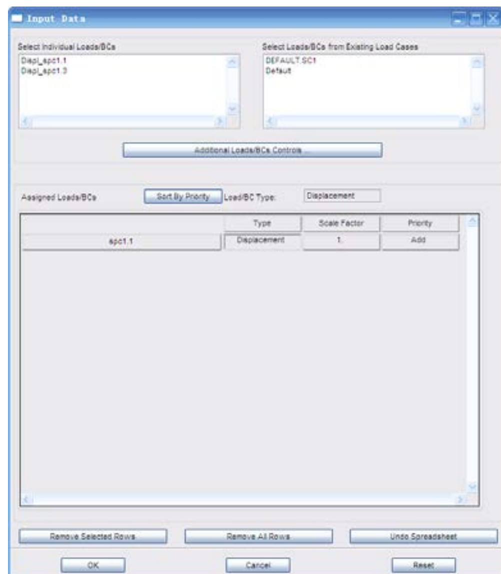


图 16-36　Input Data 页面

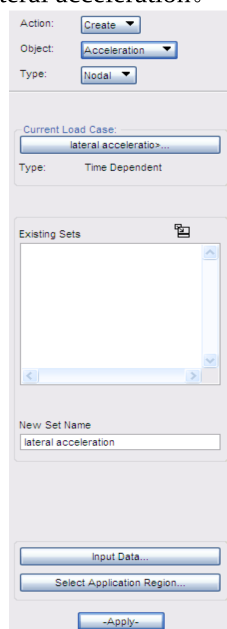


图 16-37　Load/Boundary Contidions 页面

（4）如图 16-37 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 16-38 所示的页面，在 Tans Accel<A1 A2 A3>下面左边的文本框中输入<1,0,0>，在右边的文本框中，选择 Time/Freq. Dependent Fields 列表中选择 frequency_response，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 16-37 所示，点击 Select Application Region…按钮，在如图 16-39 所示的 Select Application Region 页面中，设置 Select=FEM。在 Select Nodes 文本框中框选卫星下端面全部节点，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 区域中，点击 OK 按钮退出页面。

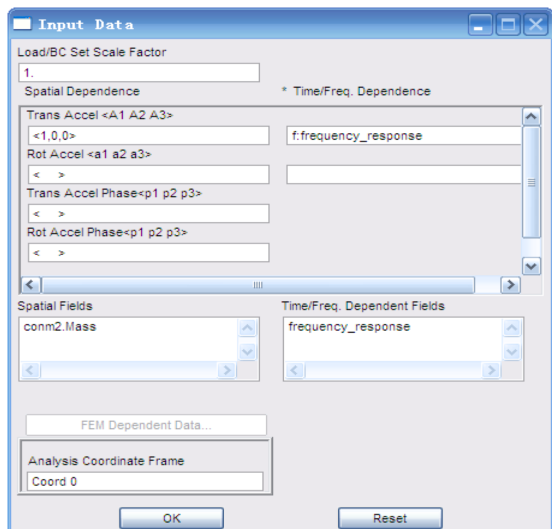


图 16-38　Input Data 页面

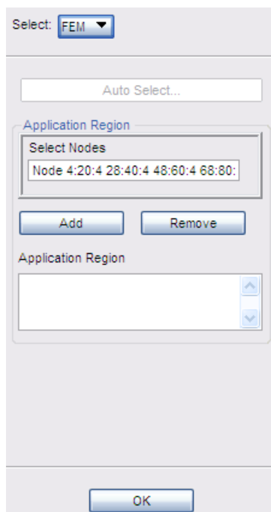
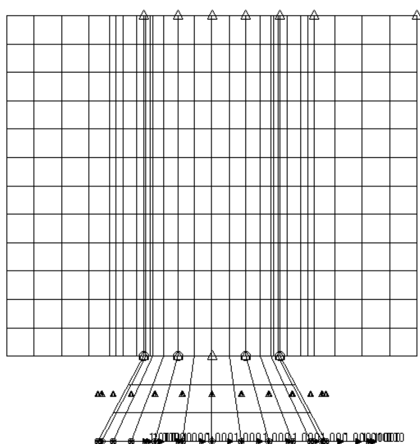
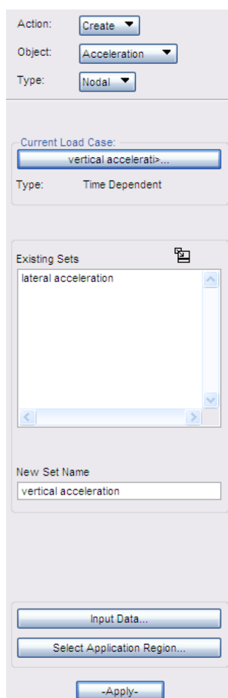


图 16-39　Select Application Region 页面

（6）如图 16-37 所示，点击 Apply 按钮，生成名为 lateral acceleration 强迫加速度，得到如图 16-40 所示的卫星有限元模型。

（7）采用相同的方法，在如图 16-41 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，点击 Current Load Case 下面的按钮，选择 vertical acceleration 为当前工况。定义名字为 Vertical Acceleration，值为<0,0,1>，作用区域相同的强迫加速度条件，最后得到如图 16-42 所示的卫星有限元模型。





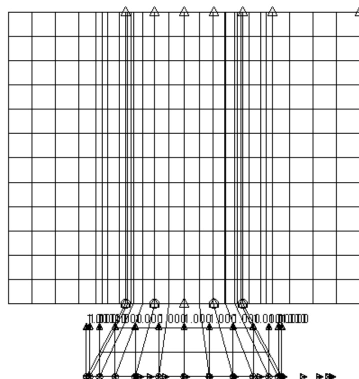


图 16-40　卫星有限元模型　　图 16-41　Load/Boundary Conditions　　图 16-42　卫星有限元模型

16.3.5 设置频响分析

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 16-43 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Objective=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 16-43 所示，在 Job Name 文本框中输入 satellite_vertical_acc。

（3）如图 16-43 所示，点击 Solution Type…按钮，打开如图 16-44 所示的 Solution Type 页面，选择 FREQUENCY RESPONSE 选项，注意在 Solution Sequence 中显示求解序列为 111。设置 Formulation=Modal。

（4）如图 16-44 所示，点击 Solution Parameters…按钮，打开如图 16-45 所示的 Solution Parameters 页面，在 Wt.-Mas Conversion 文本框中输入数值 0.00259。

（5）如图 16-45 所示，点击 Eigenvalue Extraction…按钮，打开如图 16-46 所示的 Eigenvalue Extraction 页面，在 Number of Desired Roots=文本框中输入数值 20。连续点击三次 OK 返回到 Analysis 页面。

（6）如图 16-43 所示，点击 Subcases…按钮，打开如图 16-47 所示的 Subcases 页面，在页面中的 Avaliable Subcases 列表中选择 vertical acceleration。

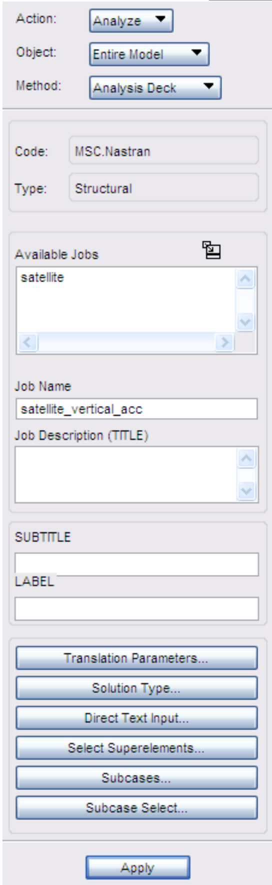


图 16-43　Analysis 页面

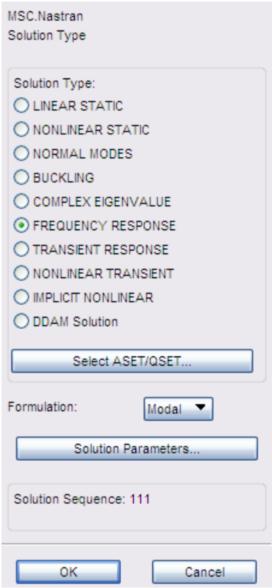


图 16-44　Solution Type 页面

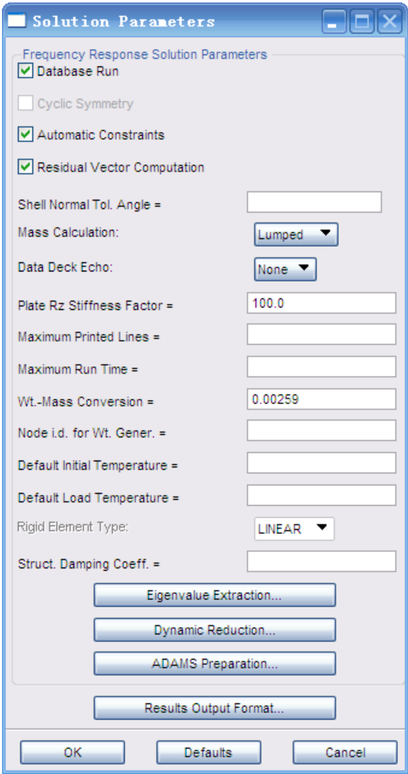


图 16-45　Solution Parameters 页面

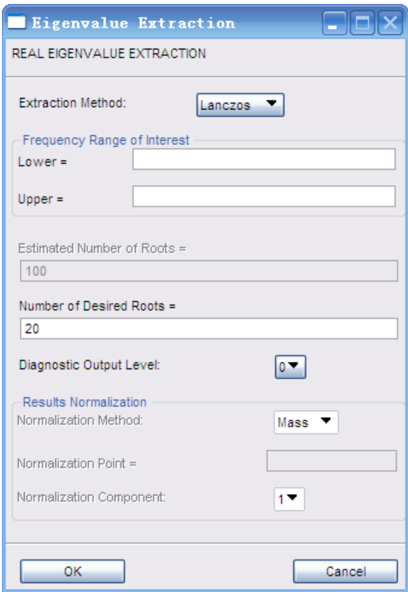


图 16-46　Eigenvalue Extraction 页面

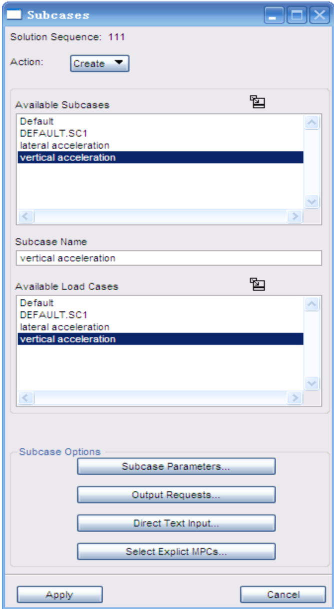


图 16-47　Subcase 页面

（7）如图 16-47 所示，点击 Subcase Parameters...按钮，打开如图 16-48 所示的 Subcase Parameters 页面，点击 DEFINE FREQUENCIES…按钮，打开如图 16-49 所示的 Define Frequencies 页面，设置如图 16-49 所示的数值，点击 OK 按钮退出页面。

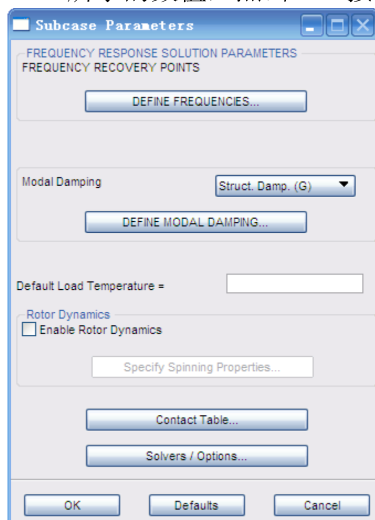


图 16-48　Subcase Parameters 页面

（8）如图 16-48 所示，设置 Model Damping=Struct. Damp.(G)，点击 DEFINE MODEL DAMPING…按钮，打开如图 16-50 所示的 Define Damping 页面，设置频率范围 1～100Hz 的阻尼值为 0.02，连续点击两次 OK 按钮返回到 Subcases 页面。

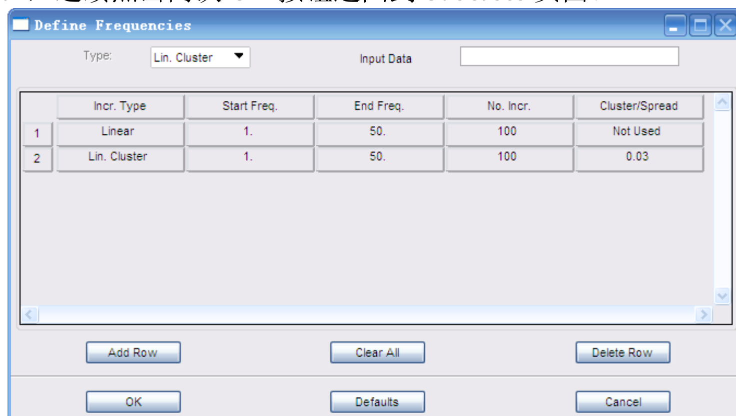


图 16-49 Define Frequencies 页面

（9）如图 16-43 所示，点击 Output Requests…按钮，打开如图 16-51 所示的 Output Requests 页面，在 Select Result Type 列表中选择 Accelerations，添加至 Output Requests 中，点击 OK 按钮退出页面。

（10）如图 16-47 所示，点击 Apply 按钮完成子工况设置，点击 Cancel 按钮退出页面。

（11）如图 16-43 所示，点击 Subcase Select…按钮，打开如图 16-52 所示的 Subcase Select 页面，选择 Subcase Selected 下方的所有工况，保证文本框中为空，并选择上面的 vertical acceleration。点击 OK 按钮退出页面。

（12）如图 16-43 所示，点击 Apply 按钮生成 bdf 文件。

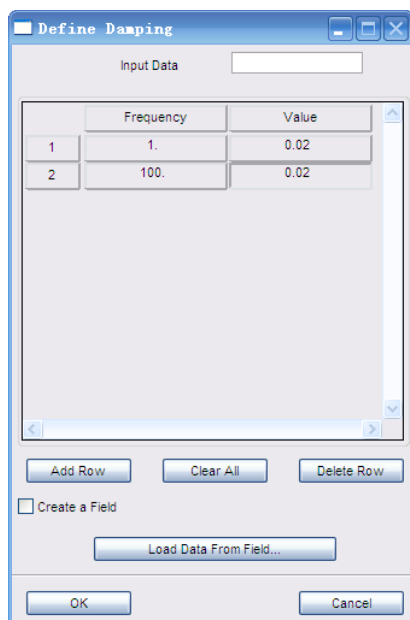


图 16-50　Define Damping 页面

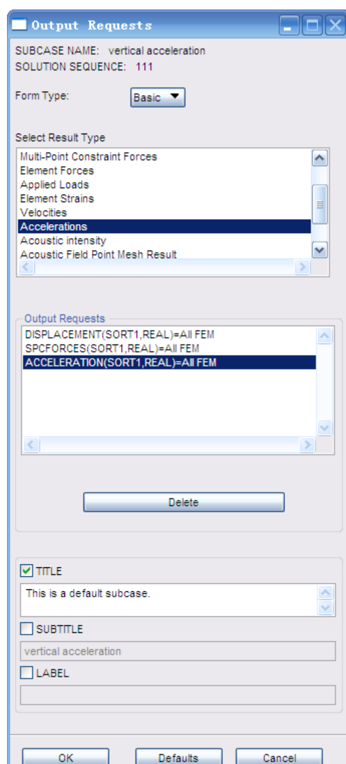


图 16-51　Output Requests 页面

（13）采用相同的方法，生成名为 satellite_lateral_acc，子工况为 lateral acceleration。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择上述两个不同的 bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行 bdf 文件，直至分析求解结束。

16.3.6 定义随机响应表

（1）点击菜单栏 Loads/BCs 下的 LBC Fields 按钮，打开如图 16-53 所示的 Fields 页面，依次设置 Action=Create，Objective=Non Spatial，Method=Tabular Input。

（2）如图 16-53 所示，在 Field Name 文本框中输入 psd。

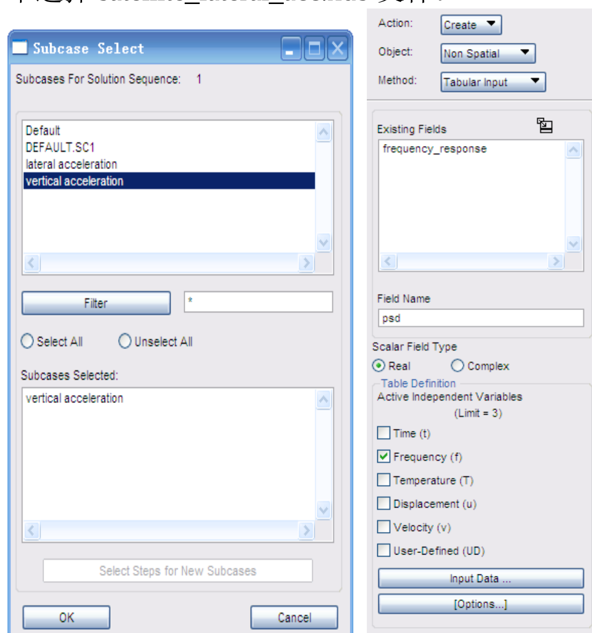
（3）如图 16-53 所示，选择 Frequency(f)选项，点击 Input Data…按钮。在 Non Spatial Scalar Table Data 中输入如图 16-54 所示的数值。其中频率值范围为 20.0～1000.0Hz，数值大小为 1.0。点击 OK 按钮退出表定义。

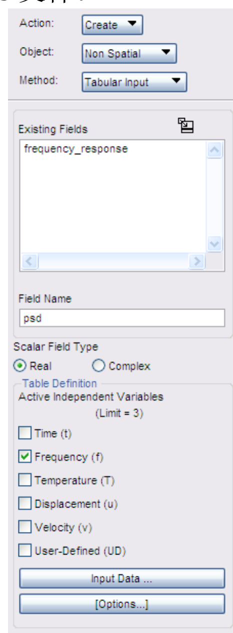
（4）如图 16-53 所示，点击 Apply 按钮以生成频率表。

16.3.7 随机响应分析

（1）点击命令栏 Tools 下 Random Analysis…命令，打开如图 16-55 所示的 Patran Random 页面，设置 Action=RMS Analysis。

（2）如图 16-55 所示，点击 Select XDB File…按钮，在弹出如图 16-56 所示的对话框中选择 satellite_lateral_acc.xdb 文件。





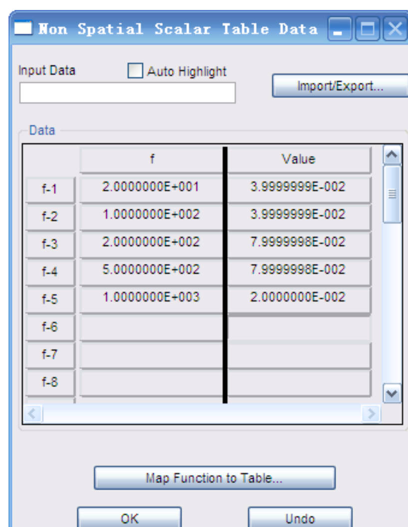
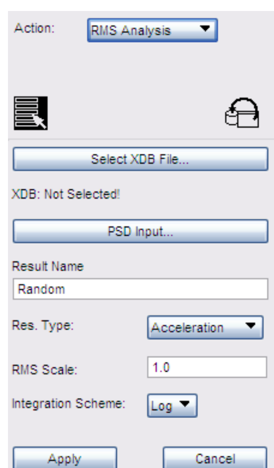


图 16-52　Subcase Select 页面　　图 16-53　Fields 页面　图 16-54　Non Spatial Scalar Table Data 页面



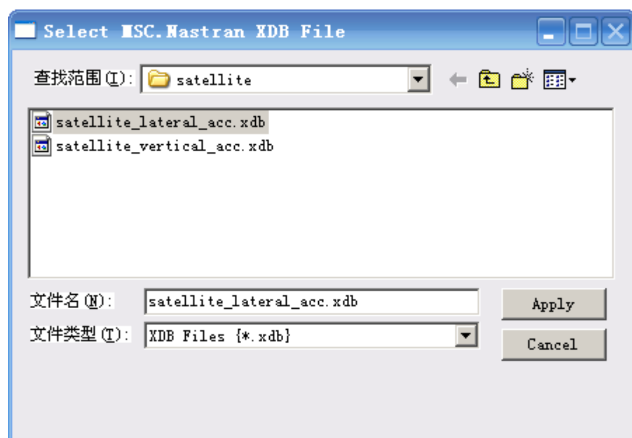


图 16-55　Patran Random 页面　　　　　　　　图 16-56　Select MSC.Nastran XDB File 对话框

（3）如图 16-55 所示，点击 PSD Input…按钮，打开如图 16-57 所示的 Random Analysis Input 页面。设置 Random Input Method=Single Case，在 Excited Se 下方的文本框中选择 1，在 Input Field 下方的文本框中选择 psd，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 16-55 所示，点击 Apply 按钮，直至随机振动分析完成。

（5）如图 16-58 所示，重新设置 Action=XY plots，在页面中部，依次设置 Plot Type=PSDF，Res.Type=Accelatration，Entity Type=node。

（6）如图 16-58 所示，点击页面上部，打开如图 16-59 所示的页面，在 Select Nodes

文本框中输入 Node 3326，点击 Apply 按钮，得到如图 16-60 所示的功率谱密度(Power Spectral Density Response, PSD)曲线。

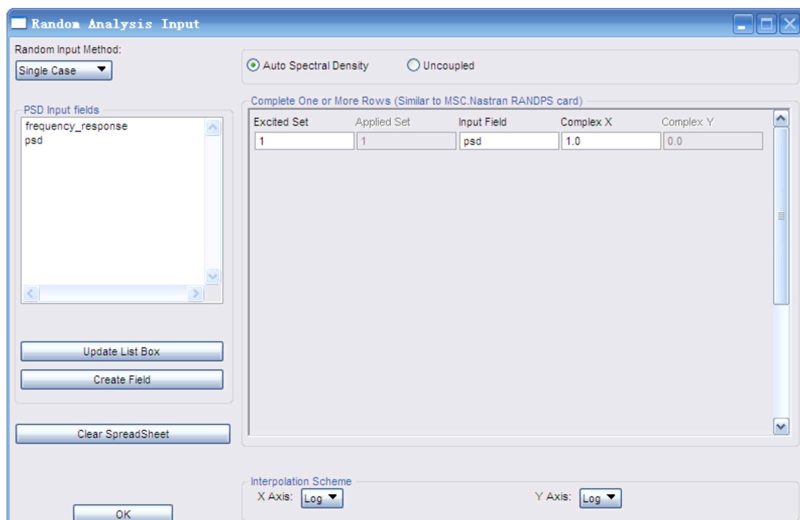


图 16-57　Random Analysis Input 页面

（7）点击菜单栏上的 Results 按钮，在如图 16-61 所示页面中，依次设置 Action=Create，Object=Quick Plot。

（8）在 Select Result Cases 列表中选择 RMS, Random，在 Select Fringe Result 列表中选择 Accelerations, Tx-Basic，点击 Apply 按钮，得到如图 16-62 所示的 x 方向加速度 RMS 分布云图。

（9）采用类似的方法，可以读取 satellite_vertical_acc.xdb 文件，得到相同节点的 PSD 曲线和 RMS 值分布，具体过程不再赘述。

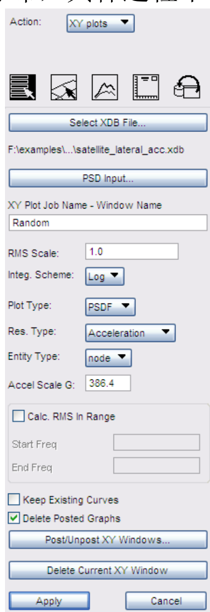


图 16-58　Patran Random 页面

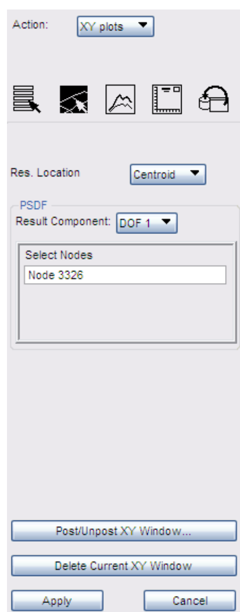


图 16-59　Patran Random 页面

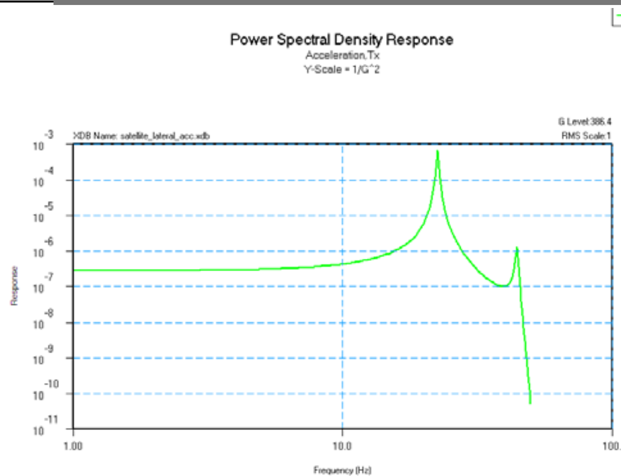
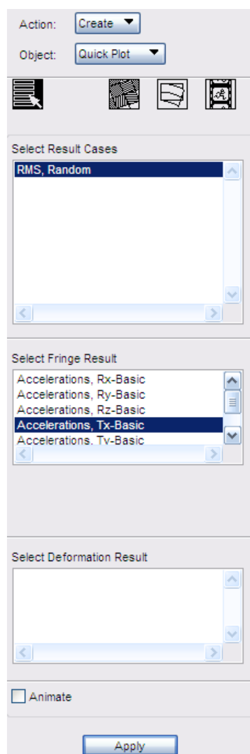


图 16-60 PSD 曲线



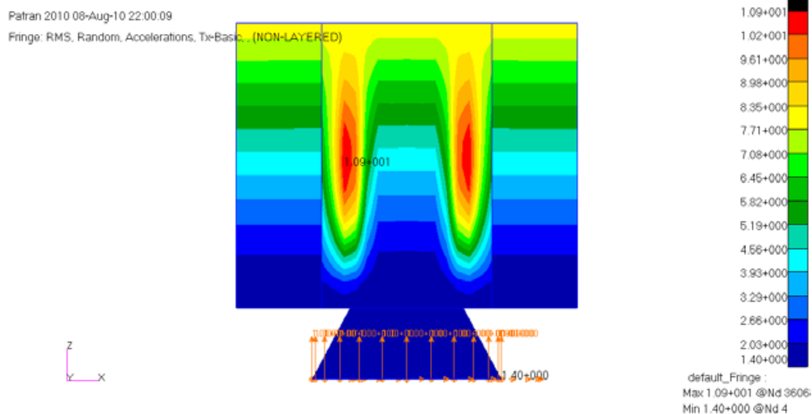


图 16-61 Results 页面

图 16-62 x 向加速度 RMS 分布云图

第 17 章　非线性分析

内容导航



非线性分析主要包括几何非线性、材料非线性和边界非线性。Nastran 具有强大的非线性分析功能，通过精确的非线性分析，可以准确地模拟结构在外载荷作用下的响应。

通过本章的学习，读者可以掌握使用 Patran 和 Nastran 进行非线性问题分析时的求解流程、非线性参数的设置等。

重点剖析

* 非线性问题的分类
* 三维接触分析实例
* 高压罐的弹塑性分析实例

17.1　非线性分析概述

非线性问题在日常生活中很普遍，线性分析只是对事物物理本质的一种近似描述，这对于某些问题能得到可以接受的解，但是对于绝大多数问题来说，线性分析是不能够解决问题的。结构的非线性问题指结构的刚度随其变形而改变的分析问题。实际上所有的真实结构本质上都是非线性的，线性分析只是一种近似。由于刚度依赖于位移，所以不能再用初始柔度乘以所施加的载荷向量的方法来计算任意载荷时非线性弹簧的位移。非线性系统的响应不是所施加载荷的线性函数，因此不可能通过通过叠加原理来获得不同载荷的解。每种载荷都必须作为独立的分析进行定义及求解。在非线性分析中，结构的刚度阵在分析过程中必须进行许多次的更新、求逆，这使得非线性分析求解比线性分析更加耗时，计算费用也更多。

工程问题中的非现象问题可分为以下三类：

（1）几何非线性：由于结构经受大扰度或转动导致几何形状变化而引起结构响应的非线性。

（2）材料非线性：由于材料非线性的应力-应变关系而导致结构响应的非线性。

（3）状态非线性：由于结构所处状态的不同而引起结构响应的非线性。

非线性问题的求解不像线性问题那样，通过求解一组方程来获得问题的解，而是通过逐步施加给定的载荷，以增量形式逐步获得最终结果。

本章所选取的非线性实例，涉及到几何非线性、材料非线性和状态非线性，或者是上述三种非线性的组合问题。

17.2 弹塑性分析实例

如图 17-1 所示，高压罐内部压力为 25MPa，高压罐的材料属性为：弹性模量为 2.5e5MPa，泊松比为 0.3 屈服极限为 250MPa，理想弹塑性材料。分析问题求解过程如下。

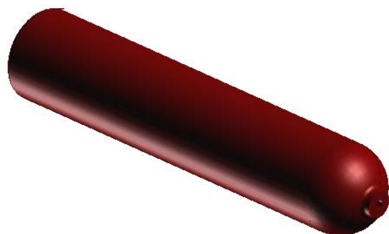


图 17-1 高压罐示意图

17.2.1 创建一个数据文件

单击按钮，或选择菜单 File>New 命令，输入文件名 tank.db，单击 OK 创建数据文件 tank.db。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Structure，Tolerance>Based on Model，Model Dimension>10.0, Analysis Code >MD Nastran, Analysis Type>Structural, 单击 OK 按钮。

17.2.2 创建几何模型

单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，开始创建几何模型，点击 Select Points 下的图标 XYZ （Create>Point>XYZ），在 Point Coordinates List 文本框中输入表 17-1 所列出的所有点的坐标值，单击 Apply 按钮，完成点的创建。

表 17-1 几何点的坐标值

	X	Y	Z
1	0	0	0
2	150	0	0
3	0	0	30
4	120	0	88.83
5	0	0	1330
6	120	0	1330
7	150	0	1330
8	15	0	1500
9	45	0	1500
10	60	0	40

（1）连接几何点，生成几何线。点击 Select Curves 下的图标 Point （Create>Curve>Point），在 Starting Point List 中输入 Point1 1 3 10 2 4 8，在 Ending Point List 中输入 Point 2 3 10 4 7 6 9，单击 Apply，完成创建。单击按钮，如图 17-2 所示。

（2）生成圆弧。点击 Select Curves 下的图标 2D ArcAngles （Create >Curve> 2D ArcAngles），在 Radius 框中输入 150，Start Angle 输入在 0，在 End Angle 框中输入 90，将 Construction Plane List 改为 Coord 0.2，在 Center Point List 中选择 Point 5，单击 Apply，生成一条圆弧。将 Radius 改为 120，点击 Apply，生成另一条圆弧。

（3）生成直线。点击 Select Curves 下的图标 Point （Create>Curve>Point）。在 Vector Coordinate List 中输入<0 0 -60>，在 Origin Coordinate List 文本框中输入 Point 8，单击 Apply，生成一条直线；将 Vector Coordinate List 改为<0 0 -40>，在 Origin Coordinate List 文本框中输入 Point 9，单击 Apply，生成另外一条直线。此时，局部视图如图 17-3 所示。

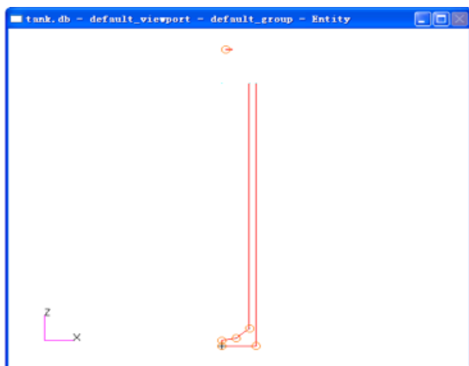


图 17-2　创建的曲线图

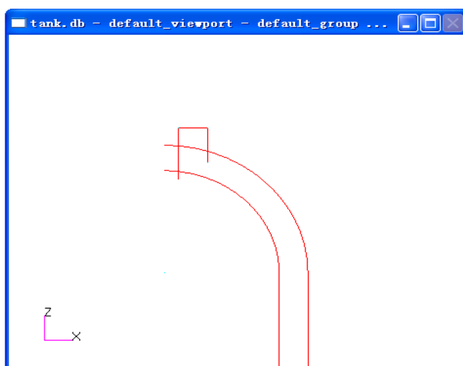


图 17-3　局部几何图形

（4）通过直线的相交得到几何点。点击 Select Points 下图标 Intersect （Create>Point>Intersect），在 Curve List 中输入 Curve 10，在第二个 Curve List 输入 Curve 7 8 ，单击 Apply 生成两个交点；在 Curve List 中输入 Curve 11，在第二个 Curve List 输入 Curve 7，单击 Apply 生成另一个交点。

（5）利用几何点将几何线截断。点击图标打开 Edit> Curve> Break 面板，在 Curve List 中输入 Curve 7，在 Break Point List 中输入 Point 16 17，　单击 Apply，弹出询问是否删除原来线段的对话框，单击 Yes，将 Curve 7 截成三条曲线段。然后，把 Curve 8 用 Point 15 截断，Curve 11 用 Point 17 截断，Curve 10 用 Point 15 截断。

（6）点击图标删除多余的线段，通过 Delete>Curve 来实现。删除后的几何图形如图 17-4 所示。

（7）对曲线倒圆角。点击 Select Curves 下的图标 Fillet，打开 Create>Curve>Fillet 面板，在 Curve 1 和 Curve 5 之间，在 Curve 3 和 Curve 4 之间，在 Curve 4 和 Curve 6 之间，在 Curve 14 和 Curve 17 之间，Curve 16 和 Curve 19 之间，倒半径分别为 20，100，80，20，40 的圆角，得到的几何图形如图 17-5 所示。

（8）将所有的直线合并成一条直线。点击 Select Curves 下的图标 Chain 打开 Create>Curve>Chain 面板，在 Curve List 框中，选中所有的直线，单击 Apply，弹出询问是否删除源曲线的对话框，单击 Yes 按钮，从而将所有的几何线段合并成一条曲线。

（9）生成面。点击 Select Surfaces 下图标 Trimmed，打开 Create>Surface>Trimmed 面板，单击 Outer Loop List 框，选中视图中的曲线，单击 Apply，弹出询问是否源曲线的对话框，单击 YES，完成操作。

（10）生成曲面。点击 Select Surfaces 下图标 Trimmed，打开 Create>Surface>Trimmed 面板，单击 Outer loop List 选项框，选择视图中的曲线，单击 Apply 按钮，

弹出询问是否删除源曲线的对话框，单击 YES，生成如图 17-6 所示的几何面。

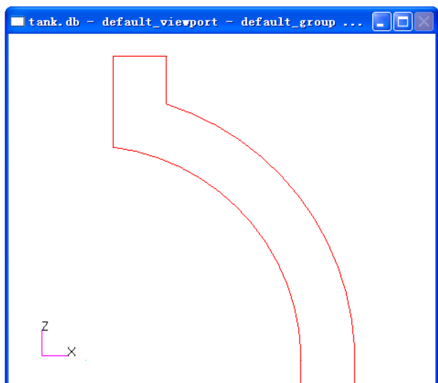


图 17-4　删除多于曲线后的几何图形

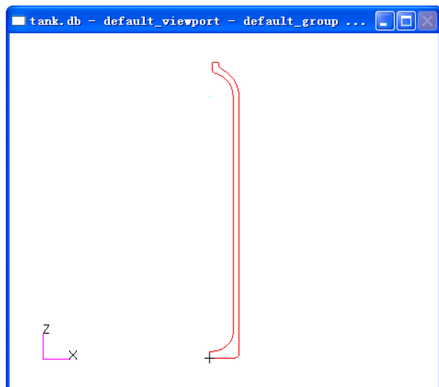


图 17-5　倒圆角后的几何图形

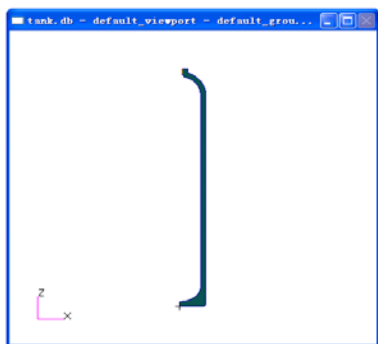


图 17-6　生成的几何面

（11）由于高压罐模型是对称的，所以只要计算其一部分即可，这样还可以减少计算规模。因此在本例中只建出高压罐的 1/4 模型。点击 Select Solids 下的图标 Revolve，打开 Create>Solid>Revolve 面板，在 Total Angle 中输入 90，在 Surface List 中选择视图中的 Surface 1 单击 Apply，完成创建。创建完成后的实体如图 17-7 所示。

17.2.3 划分有限元网格

单击 ***Meshing*** 应用工具按钮，开始创建有限元模型。点击 Meshers 下图标（Create>Mesh>Solid），Elem Shape 选择 Tet，Mesher 选择 Tetmesh，Topology 选择 Tet10，在 Input List 中，选择创建的实体，Global Edge Length 设为 26，单击 Apply，划分有限元网格，创建完成的有限元模型如图 17-8 所示。

17.2.4 设置边界条件及施加载荷

考虑的模型的边界条件，首先定义一个圆柱坐标系，打开 Create>Coord/3 Point 面板，

在 Type 选项中选择 Cylindrical 类型的坐标系，单击 Apply 生成圆柱坐标系。

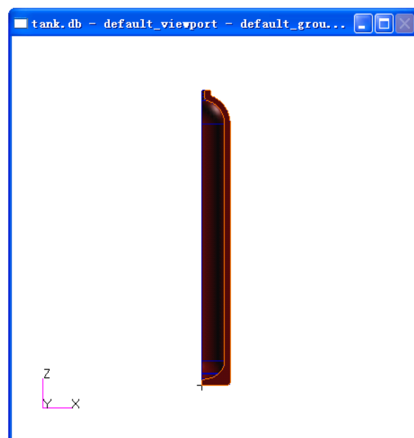


图 17-7　1/4 实体模型

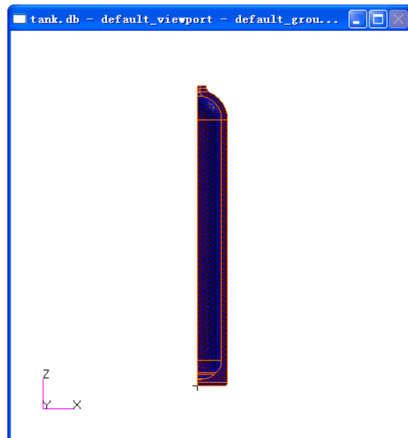


图 17-8　有限元网格

（1）创建周向边界条件。单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮，点击图标 打开设置面板，Create>Displacements>Nodal。在 New Set Name 选项中输入 sym_spc，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>输入框中，输入< ,0, >,单击 OK。在 Analysis Coordinate Frame 框中选择 Coord 1，单击 OK。然后单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，单击两个轴向旋转面，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成轴向边界条件的创建。

（2）创建径向边界条件。打开 Create>Displacements>Nodal。在 New Set Name 选项中输入 sym_radius，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>输入框中，输入<0 , , >，单击 OK。在 Analysis Coordinate Frame 框中选择 Coord 1，单击 OK。然后单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，单击高压罐上的中心轴线，如图 17-9 所示，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成径向边界条件的创建。

（3）定义 Z 向载荷。打开 Create>Displacements>Nodal。在 New Set Name 选项中输入 sym_Z，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>输入框中，输入< , ,0>，单击 OK。在 Analysis Coordinate Frame 框中选择 Coord 1，单击 OK。然后单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，单击高压罐封口部分的曲面，如图 17-10 所示，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成径向边界条件的创建。

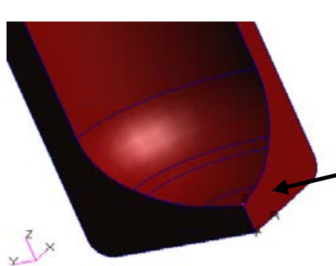


图 17-9　轴心轴线的位置

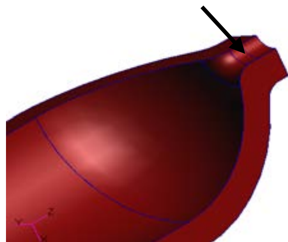


图 17-10　封口部分曲面的位置

（4）定义载荷。点击 Elements Uniform 下的图标 （Create>Pressure>Element

Uniform），在 New Set Name 中输入 Pressure，单击 Input Data 按钮，在 Pressure 对话框中输入 25，单击 OK 返回；单击 Select Application Region 按钮，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，在 Select Solid Faces 选项中选择高压罐内部的曲面，单击 Add、OK、Apply。定义边界及载荷后的有限元模型如图 17-11 所示。

（5）为了检查边界条件和载荷是否正确，可以在有限单元上显示这些。首先，通过 Plot/Erase form 按钮，隐藏所有的几何模型；单击 FEM Plot 按钮，显示有限元模型。单击 OK 按钮，关闭 Plot/Erase 按钮窗口。其次选择 Display/Load/BC/Elem.Props…菜单，在 LBC/Elem. Prop. Attributes 窗口中点击 Show on FEM only 复选框，单击 Apply。单击 Cancel 关闭 LBC/Elem. Prop. Attributes 窗口。最后，显示边界和载荷。打开 Action>Plot Markers，选择 Assigned Load/BC Sets 列表中定义好的位移和载荷，单击 Apply 按钮。局部放大模型如图 17-12 所示。

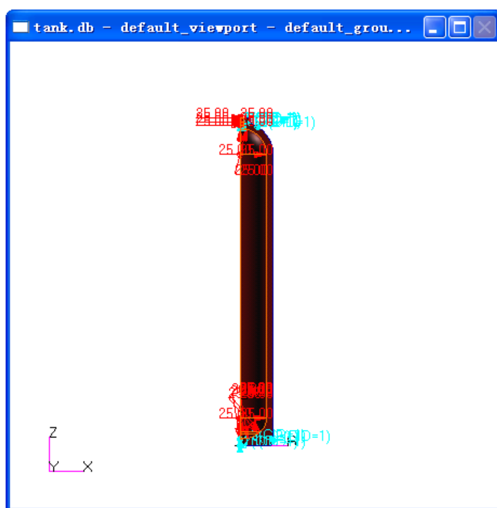


图 17-11　施加边界条件和载荷的有限元模型

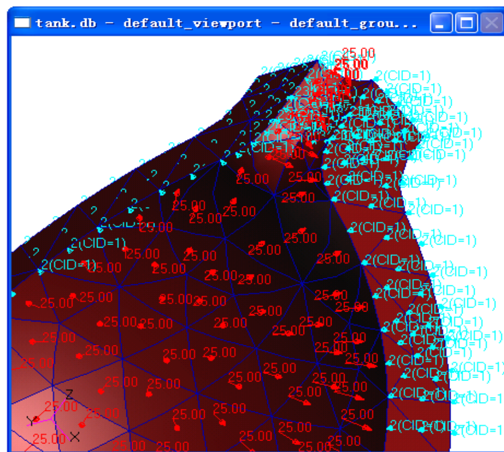


图 17-12　模型边界条件和载荷的局部显示图

17.2.5 定义材料属性

（1）定义材料应力－应变曲线。单击 ***Properties*** 下的 Fields 中的应用工具按钮，进入场定义菜单。Create>Material Property>Tabular input，Field name 输入 f1，在 Table Definition 中选择 Strain，单击 Input Data 按钮，进入 1D Material Scalar Table Data 对话框，输入如图 17-13 所示的参数，单击 OK、Apply，完成材料曲线的定义。

（2）定义材料模型。单击 Isotropic 应用工具按钮，Create>Isotropic>Mannual Input，Constitute Model 选择 Linear Elastic，Material Name:Mat，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Elastic Modulus 中输入 2.5e5，在 Poisson Ratio 中输入 0.3，单击 OK、Apply，完成材料的创建。

（3）打开 Create>Isotropic>Manual Input 面板，单击刚才生成的材料模型 mat，单击 Input Properties 按钮，Constitute Model 选择 Elastoplastic，Nonlinear Data Input>Stress/Strain Curve，Yield Function>Tresca，Hardening Rule>Isotropic，Strain Rate Method>None，

Stress/Strain Curve>f1，如图 17-14 所示，单击 OK，Apply 按钮，完成材料塑性部分的定义。

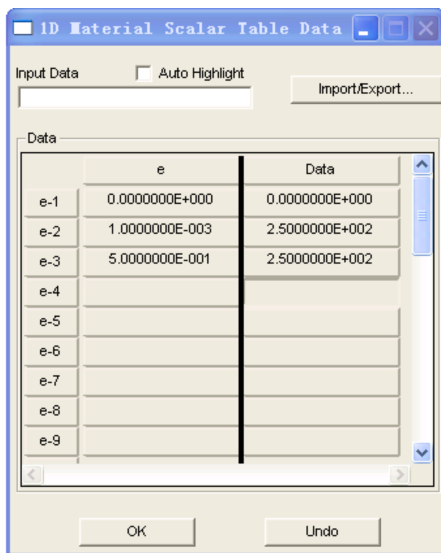


图 17-13　定义应力应变曲线

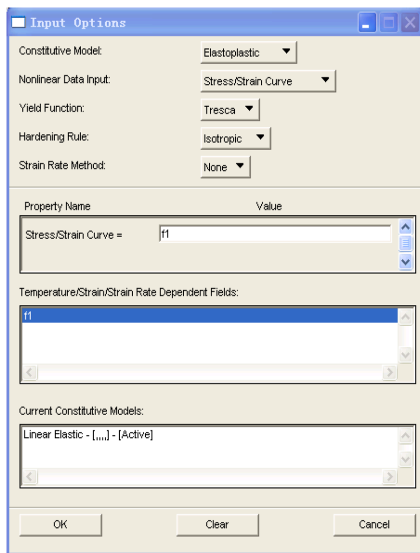


图 17-14　塑性材料的定义

17.2.6 定义单元属性

单击 ***Properties*** 下 2D Properties 中的应用工具按钮，然后将 Object>2D 改为 Object>3D 即 Action>Create，Object>3D，Method>Shell，在 Property Set Name 中输入 solid，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 mat，在单击 OK；在 Application Region 选项框，选择视图中的实体 solid1，点击 Add、Apply，完成定义单元属性。

17.2.7 进行分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，Action>Analyze，Object>Entire Model，Method>Full Run，打开 Solution Type 按钮，选择求解类型为 NONLINEAR STATIC，单击 OK、Apply。弹出 Natran 计算对话框，开始计算。

17.2.8 查看分析结果

（1）在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，Action>Access Results，Object>Attach XDB，Method>Result Entities，单击 Select Results File 按钮，选择 Plate_Static.XDB，单击 OK、Apply。

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮，Action>Create，Object>Quick plot，在 Select Fringe Result 中选择 Displacements,Translational, Quantity 选择 Z Component，在 Select Deformation Result 选项中选择 Displacement Translational，单击 Apply，位移云图如图 17-15 所示；在 Select Fringe Result 选项中选择 Stress Tensor，在 Quantity 选项中选择 von. Mises，单击 Apply 按钮，生成如图 17-16 所示的应力云图。

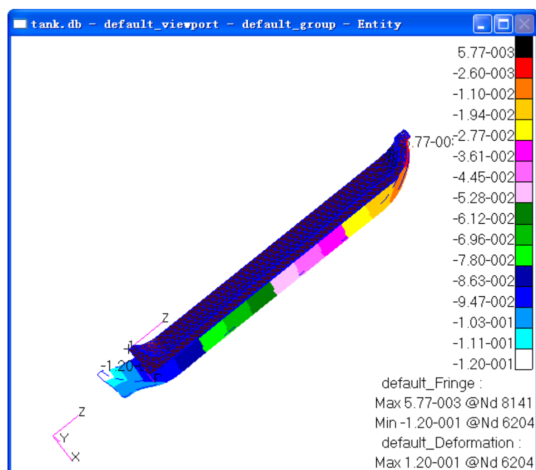


图 17-15　位移云图

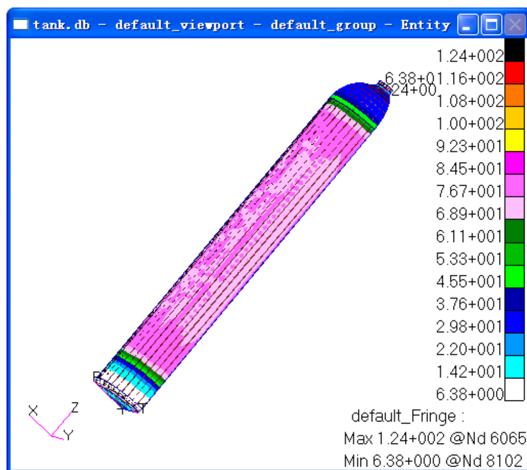


图 17-16　应力云图

17.3 圆管变形分析

如图 17-17 所示，圆管直径为 8，长度为 24，厚度为 0.4，圆管的材料属性为：弹性模量 E＝30e6，泊松比 ν ＝0.3，屈服应力为 36000，圆管两端固定，上部的刚性面沿－Y 方向向下移动，下部的刚性面沿 Y 方向向上移动，分析在该载荷作用下的变形受力情况。分析问题求解过程如下。

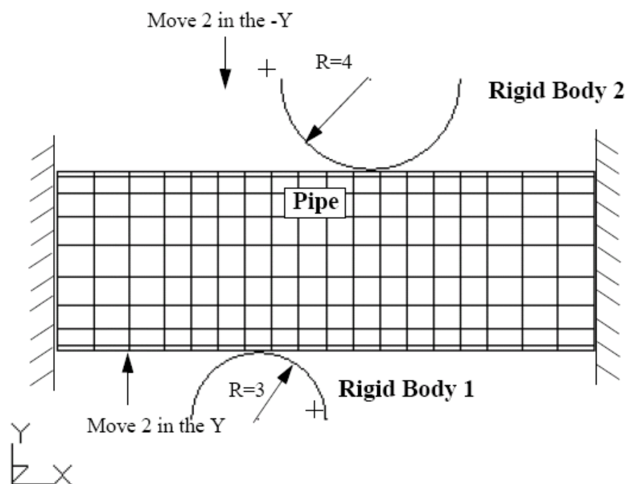


图 17-17　模型示意图

17.3.1 创建一个数据文件

直接单击按钮，或选择菜单 File>New 命令，输入文件名 crush，单击 OK 创建数据文件 crush.db。单击 Preferences 菜单，选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Structural。点击 Preferences 菜单，在 Rectangle/Polygon Picking 中选择：Enclose Entire Entity，单击 Close 按钮。

17.3.2 创建几何模型

（1）创建一个新组，打开 Group/Create…菜单，在 New Group Name 中输入：rigid 选中 Make Current 选项，在 Group Contents 选项中选择：Add Entity Selection。单击 Apply、Cancel 按钮。

（2）创建下刚体面上的点。单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，开始创建几何模型，点击 Select Points 下的图标 XYZ （Create>Point>XYZ），在 Point Coordinates List 选项中，输入<-3 -7.1 4.5>，单击 Appy，创建第一个点，接着在 Point Coordinates List 选项中，输入<0 -7.1 4.5>单击 Apply，创建第二个点。

（3）通过旋转创建下刚体面上的曲线。点击 Select Curves 下的图标 Revolve （Create>Curve>Revolve），在 Axis 中输入{Point1 [X1 Y1 17.0]}，在 Total Angel 中输入：180，在 Point List 中输入：Point2，单击 Apply 按钮。生成的曲线如图 17-18 所示。

（4）创建上刚体面上的点。点击 Select Points 下的图标 XYZ （Create>Point> XYZ），在 Point Coordinates List 选项中，输入<2 8.1 4.5>，单击 Appy，创建第一个点，接着在 Point Coordinates List 选项中，输入<6 8.1 4.5>单击 Apply，创建第二个点。

（5）创建上刚体面上的曲线。点击 Select Curves 下的图标 Revolve （Create> Curve>Revolve），在 Axis 中输入{Point 4 [X4 Y4 17.0]}，在 Total Angel 中输入：-180，在 Point List 中输入：Point 5，单击 Apply 按钮。此时，定义完成上下刚体面上的曲线的视图如图 17-19 所示。

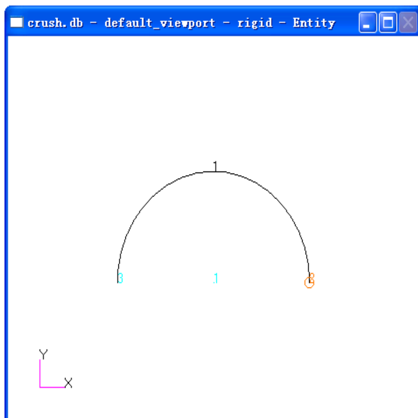


图 17-18　生成的圆弧图

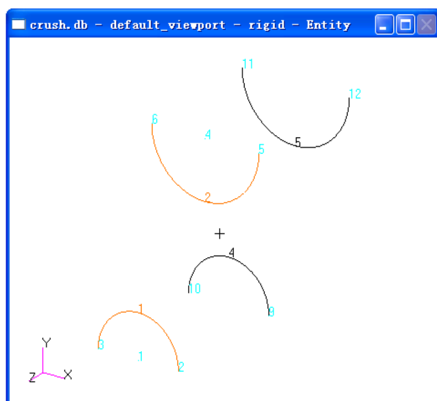


图 17-19　创建完成的曲线

（6）创建刚体曲面。首先打开 Group 菜单选择 post，选择 rigid，单击 Apply、Cancel 按钮。单击按钮改变视图的显示，Transform>Curve>Translate，在 Translation Vector 选项中，输入<0 0 -10>，在 Curve List 中选中 Curve1 2，单击 Appy，创建完成的曲线。接下来创建刚体曲面，Create>Surface>Curve，在 Option 选项中选择 2 Curve，在 Start Curve List 中选择 Curve2，在 Ending Curve List 中选择 Curve 5；重复以上操作，Create>Surface>Curve，在 Option 选项中选择 2 Curve，在 Start Curve List 中选择 Curve1，在 Ending Curve List 中选择 Curve 4，单击 Apply 完成创建。创建完成的曲面如图 17-20 所示。

（7）检查曲面的法线方向。这些曲面将会被用来定义刚体，刚体的外法向方向是通过曲面的法向方向来定义的，因此需要确保这些曲面的法线方向指向 pipe。Show>Surface>Normal，在 Normal Vector Display 中选择 Surface Boundary，在 Surface List 中选择 Surface 1 2，单击 Apply。如果曲面的法线方向不指向 pipe，通过 Edit>Surface>Reverse 来翻转法线的方向。正确的曲面法线方向，如图 17-21 所示。

（8）创建一个新的组。打开 Group/Create…菜单，在 New Group Name 中输入：pipe，选中 Make Current 选项，在 Group Contents 选项中选择：Add Entity Selection。单击 Apply、Cancel 按钮。

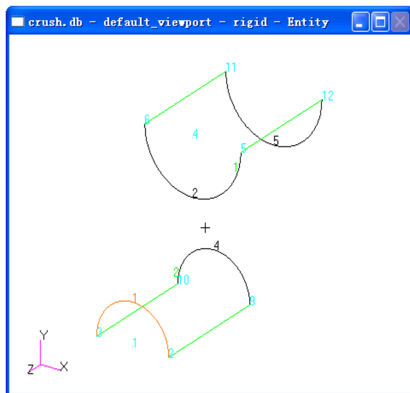


图 17-20　创建完成的曲面图

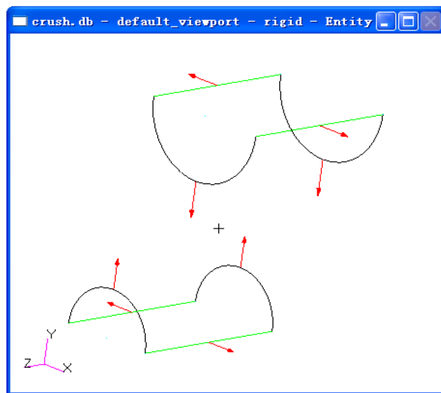


图 17-21　曲面的法线方向

（9）创建 pipe 上的点。首先单击按钮，该边视图显示。Create>Point>XYZ，在 Point Coordinates List 选项中，输入<-12 0 0>，单击 Appy，创建第 Point 11，接着在 Point Coordinates List 选项中，输入<-12 4 0>单击 Apply，创建 Point 12。

（10）创建 pipe 上的曲线。点击 Select Curves 下的图标 Revolve （Create> Curve>Revolve），在 Axis 中输入{Point 11 [1 Y11 Z11]}，在 Total Angel 中输入：360，在 Point List 中输入：Point 12，单击 Apply 按钮。

17.3.3 创建 pipe 的有限元模型

（1）设定单元尺寸。单击 ***Meshing*** 应用工具按钮，开始创建有限元模型，点击 Mesh Seeds 下的图标（Create>Mesh Seed>Uniform），Element Edge Length Data 选择 Number of

Elements，输入 Number：18。在 Curve List 选项中选择如图 17-22 所示的 Curve5，单击 Apply 按钮。

（2）创建一个新的组。打开 Group/Create…菜单，在 New Group Name 中输入：fem_pipe，选中 Make Current 选项，在 Group Contents 选项中选择：Add Entity Selection。单击 Apply、Cancel 按钮。

（3）网格划曲线。点击 Meshers 下的图标（Create>Mesh>Curve），设置 Global Edge length：0.1，Element Topology：bar2，选择 Curve 3，单击 Apply。

（4）生成单元。单击改变视图显示。点击 Meshing 下面的 FEM Actions 内的第二个选项 Sweep，则 Sweep>Element>Extrude，打开 Mesh Control 按钮，选中 Number of Elements 选项，输入 Number：3，单击 OK，在 Direction Vector 中输入[4.8 0 0]，不选中 Delete Original Elements，点击工具条中的按钮，然后点击按钮，在 Base Entity List 选项中选择如图 17-23 所示的 Beam Elements，单击 Apply 按钮。重复以上过程，继续生成单元，Sweep>Element>Extrude，打开 Mesh Control 按钮，选中 Number of Elements 选项，输入 Number：12，单击 OK，在 Direction Vector 中输入[14.4 0 0]，单击图标，选中如图 17-24 所示的单元的边，单击 Apply。继续重复以上过程，Sweep>Element>Extrude，打开 Mesh Control 按钮，选中 Number of Elements 选项，输入 Number：3，单击 OK，在 Direction Vector 中输入[4.8 0 0]，单击图标，选中如图 17-25 所示的单元的边，单击 Apply，完成 pipe 网格的创建。

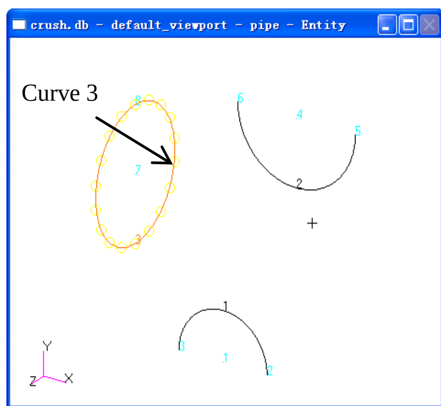


图 17-22　pipe 和上下刚体面上的曲线

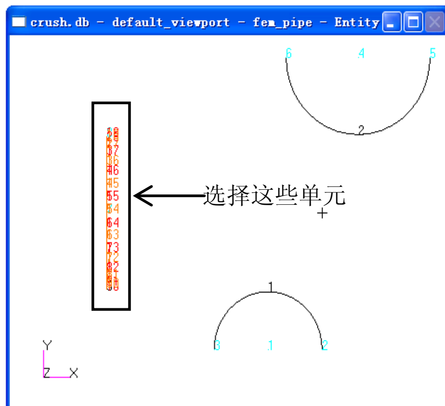


图 17-23　生成单元

（5）检查单元法线。单击 FEM Actions 下的图标（Verify>Element>Normals），选择 Draw Normal Vectors，单击 Apply，单元法线的方向如图 17-26 所示。

在本例中要求所有单元的法向方向均向外，按以下步骤来调整，在 Test Control 中选中翻转单元法线（Reverse Elements），在 Guiding Elements 选项中选择任何一个法线方向指向外部的单元，如 Element34，单击 Apply。单击按钮，正确的法线方向如图 17-27 所示。

（6）单击 FEM Actions 下的图标，合并单元节点（Equivalence>ALL>Tolerance Cube），单击 Apply 完成操作。

（7）单击按钮，隐藏标号，接下来创建两个 Group 等后处理时使用，打开

Group/Create…菜单，在 New Group Name 中输入 fem_all，勾掉 Make Current 选项，选中 Posted 选项，在 Group Contents 中选择 Add All FEM，单击 Apply；接下来创建一个只包含当前有限元模型的 Group，打开 Group/Create…菜单，在 New Group Name 中输入 contact_bodies，选中 Make Current 选项，在 Group Contents 中选择 Add Entity Selection，选择两个刚体面，单击 Apply、Cancel。

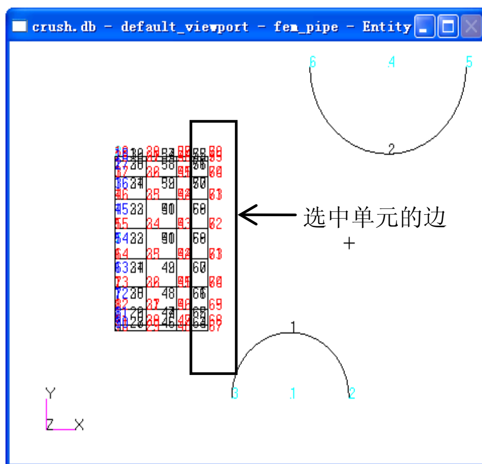


图 17-24　生成单元

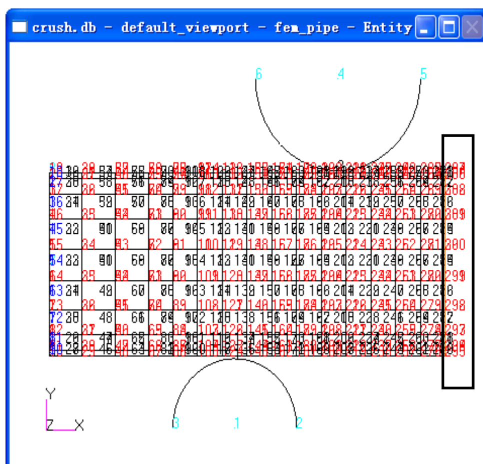


图 17-25　生成单元

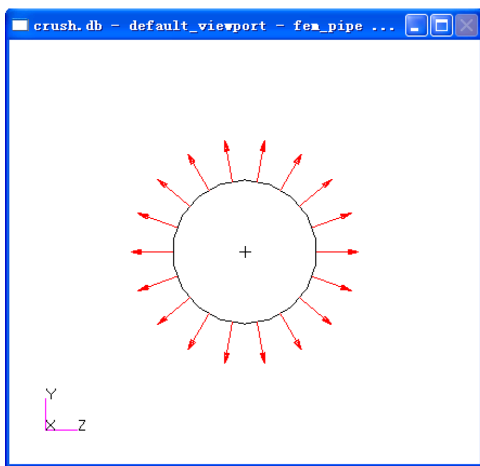


图 17-26　单元法线方向

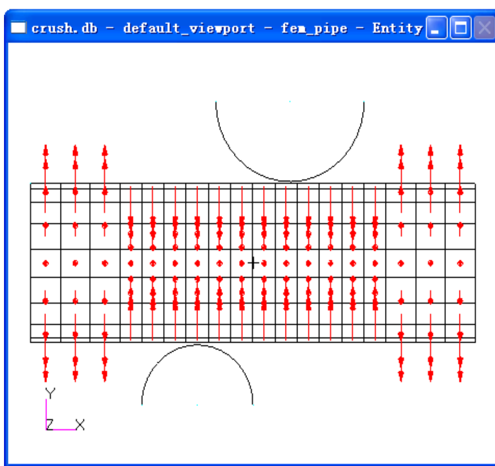


图 17-27　调整后的法线方向图

17.3.4 定义材料属性

单击 ***Properties*** 下的 Isotropic 应用工具按钮（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Mannual Input），Material Name:Steel，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，Constitutive Model 选择，在 Elastic Modulus 中输入 10e6，在 Poisson Ratio 中输入 0.3，单击 OK、Apply，完成材料弹性部分的创建。单击 Input Properties 按钮对应的面板，Constitutive

Model 选择 Elastoplastic 选项，在 Nonlinear Data Input 选项中选择 Perfectly Plastic，在 Yielding Point 中输入 36000，单击 OK、Apply 按钮完成材料属性的创建。

17.3.5 定义单元属性

首先打开 Group/Post…菜单，选择 fem_pipe，单击 Apply。单击 ***Properties*** 应用工具按钮，点击 2D Properties 下的图标（Action>Create，Object>2D，Type>Shell），在 Property Set Name 中输入 pipe，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 steel，在 Thickness 选项中输入 0.4，单击 OK；在 Application Region 选项框，单击按钮，选中视图中所有的 2D 单元，完成定义单元属性。

17.3.6 设置边界条件及施加载荷

（1）施加位移边界条件。单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮，点击 Nodal 下的图标（Action>Create，Object>Displacements, Type>Nodal）。在 New Set Name 选项中输入 end_disp，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>和 Rotations<R1 R2 R3>输入框中，输入<0 0 0>,单击 OK。单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，然后选择如图 17-28 所示框中的节点，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

（2）定义接触载荷和边界条件。打开 Group/post…菜单，选择 contact bodies，单击 Apply、Cancel 按钮。单击 Contact Bodies 下的图标（Action>Create, Object>Contact, Type>Element Uniform），Option 选择 Deformable Body，在 New Set Name 中输入 contact_mid，在 Target Element Type 中选择 2D，单击 Select Application Region 按钮，Geometry Filter 选项中选择 FEM，然后选择如图 17-29 所示框中的 2D 单元，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。接着定义上部刚体的接触边界条件，参考图 17-30, 打开 Create>Contact>Element Uniform 面板，Option 选择 Rigid Body，在 New Set Name 中输入 contact_top，在 Target Element Type 中选择 2D，单击 Input Data 按钮，选中 Flip Contact Side，在 Motion Control 中选择 Velocity，在 Velocity（Vector）中输入<0,-2,0>，单击 OK，单击 Select Application Region…按钮，Geometry Filter 选项中选择 Geometry，在 Select Surface 选项中选择 Surface 2，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建；接下来重复相同的操作，创建下部刚体的接触的边界条件，打开 Create>Contact>Element Uniform 面板，Option 选择 Rigid Body，在 New Set Name 中输入 contact_bottom，在 Target Element Type 中选择 2D，单击 Input Data 按钮，选中 Flip Contact Side，在 Motion Control 中选择 Velocity，在 Velocity（Vector）中输入<0,2,0>，单击 OK，单击 Select Application Region…按钮，Geometry Filter 选项中选择 Geometry，在 Select Surface 选项中选择 Surface 1，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。定义好的接触如图 17-31 所示，如果箭头的方向不对，按如下步骤修改，打开 Modify>Contact>Element Uniform 面板，Option 选项选择 Rigid Body，在 Select Set to Modify 选项中选择 contact_top or bottom，单击打开 Modify Data…按钮对应的面板，选中 Flip Contact Side，单击 OK、Apply 按钮即可。

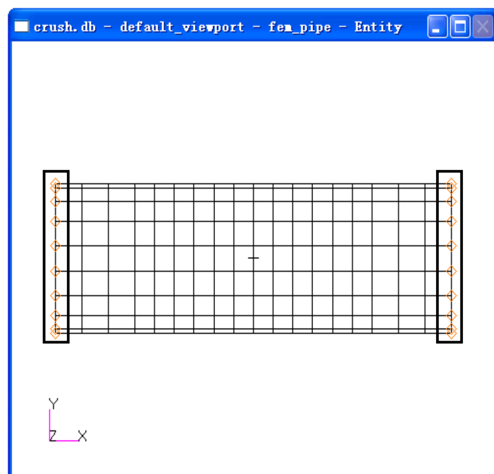


图 17-28　施加边界条件的点

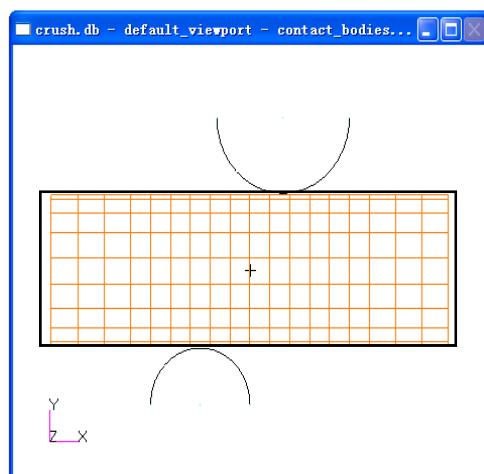


图 17-29　定义 pipe 的接触

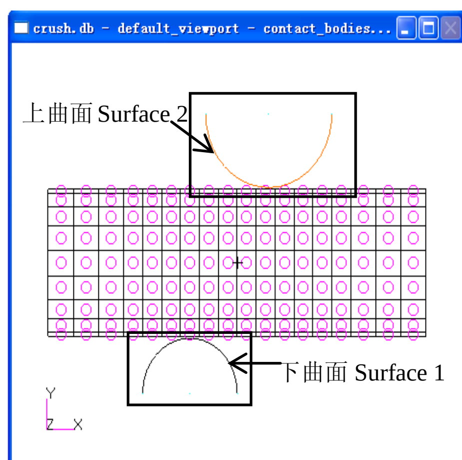


图 17-30　定义上下刚体的接触图

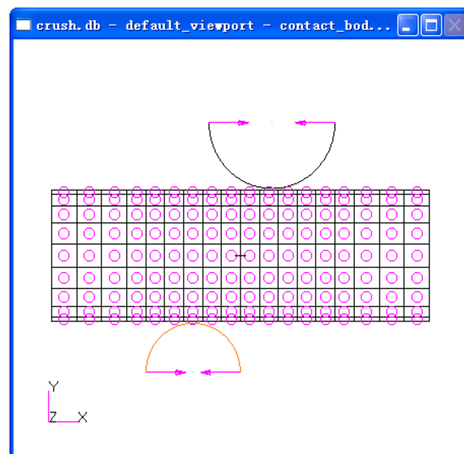


图 17-31　定义接触后的模型

17.3.7 进行分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，单击 Analyze 下图标 （Action>Analyze，Object>Entire Model，Method>Full Run），打开 Solution Type 按钮，选择求解类型为 Implicit Nolinear，单击 OK。单击 Subcases…按钮，打开其对应的面板，在 Subcase Name 中输入 pipe_crush，Analysis Type 为 Static，如图 17-32 所示，单击 Subcase Parameters 按钮，进行如图 17-33 所示的设置，Linearity 选择 NonLinear，Nonlinear Geometry Effects 选择 Large Displacement/Large Strains 选项，接着点击 Load Increment Params…按钮，进行如图 17-34 所示的设置，Increment Type 选择 Adaptive Arc Length，ArcLength Method 为 Modified Riks/Ramm，Max # of Increment 设置为 100，单击 OK。单击 Iteration Parameters…按钮，设置 Max # of Iterations per Increment 设置为 75，单击 OK，单击 Contact Table 按钮，在

Parameter Defining Contact Bodies 选项中选择 Glue All，依次单击 OK、OK、Apply 按钮；接下来定义输出要求，单击 Output Requests 按钮，打开对应的操作面板，单击 Select Element Results…按钮，在 Available Result Types 中选择 Strain Total Components 301 和 Stress Components 311，完成操作后的面板如图 17-35 所示，依次单击 OK、OK、Apply、Cancel 按钮；最后单击 Subcase Select…按钮，选中 pipe_crush，单击 OK、Apply，弹出 DOS 窗口，系统提交任务开始计算。

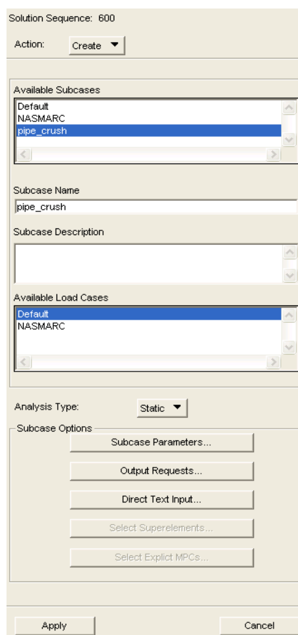


图 17-32　定义 Subcase

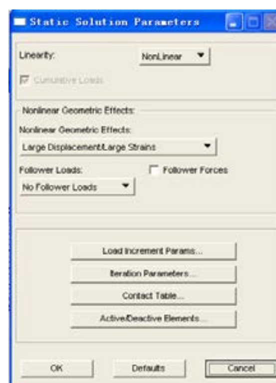


图 17-33　Subcase 参数设置

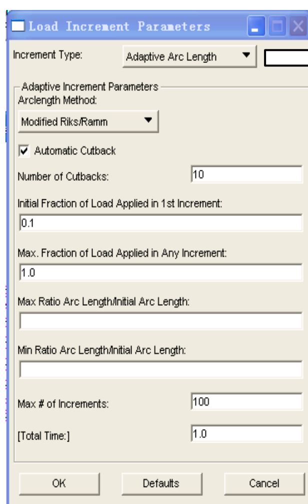


图 17-34 求解参数设置

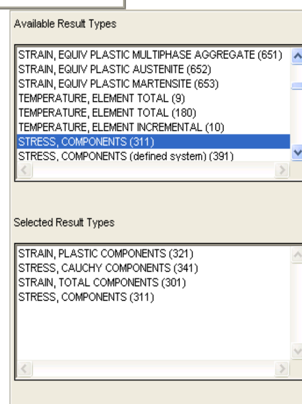


图 17-35　输出要求设置

17.3.8 查看分析结果

（1）在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，单击 Access Results 下的图标（Action>Access Results，Object> Attach T16/T19，Method>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 crush. marc. t16，单击 OK、Apply，将计算结果读入 Patran 中。

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮，单击图标（Action>Create，Object>Quick plot），在 Select Result Case 中选项中选择最后一步，在 Select Deformation Result 中选择 Displacement，Translation，单击 Apply 按钮，变形图如图 17-36 所示；在 Select Fringe Result 选项中选择 Select Strain，Total，在 Quantity 选项中选择 von Mises，单击 Apply 按钮，生成如图 17-37 所示的应变云图。创建节点反力图，Create>Graph>Y vs X，单击 Select Result 图标，单击 Select Subcases 按钮，Filter Method 选择 All，单击 Filter、Apply、Close 按钮，在 Select Y Result 选项中选择 Force Nodal Reaction，Quantity 选项中选择 Magnitude，X 坐标设置为 Global Variable，Variable 选项设置为 Time，单击 Target Entity 图标，选择 Node118，单击 Apply，生成如图 17-38 所示的节点反力曲线。

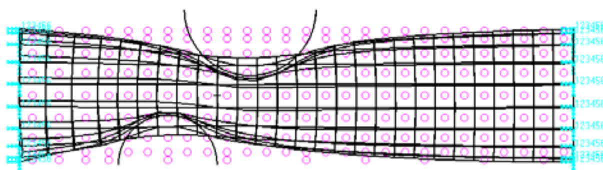


图 17-36　变形图

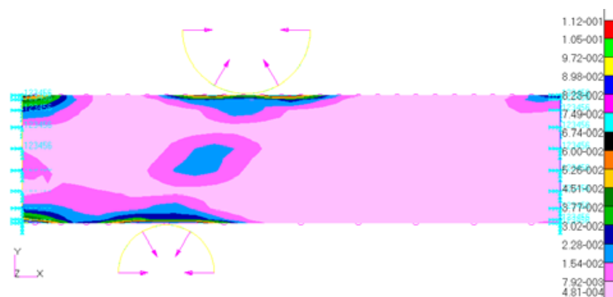


图 17-37　应变云图

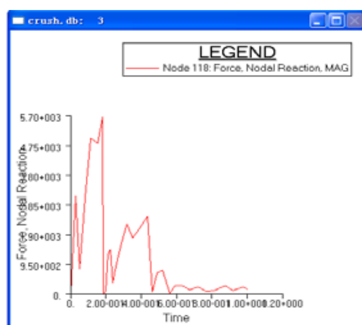


图 17-38　节点反力图

17.4　金属样件拉伸的材料非线性实例

在材料力学测试中，常用单向拉伸样件。设拉伸样件长度为 8in，宽度为 2in，厚度为 1in，其形状为矩形，即在两个方向 X 和 Y 均为对称，故而在分析计算中可采用 1/4 样机模型，同时在对称边界上施加位移对称边界条件。在拉伸一端，采用位移边界条件的形式来控制拉伸过程，端部位移为 1.65in。例子中的材料为弹塑性各向同性硬化材料，弹性模量为 1e7psi，泊松比为 0.33。塑性应力-应变关系采用实验值，具体数值如表 17-2 所示。

表 17-2　塑性应力-应变关系

应变	0	0.002	0.005	0.015	0.045	0.125	0.35	0.5	2
应力/psi	2842	4897	6095	8045	10682	13934	18225	18400	18500

在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\necking.db

（2）bdf 文件和结果文件：\necking.bdf

17.4.1 创建数据库模型

（1）点击菜单栏中的 File/New，在文件名中输入 necking.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Based on Model，Analysis Code=MSC.Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 退出页面。

17.4.2 创建几何与网格模型

本节建立拉伸件的 1/4 网格模型，用于后续的分析。

（1）点击菜单栏上的 Geometry 按钮，打开如图 17-39 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Surface，Method=XYZ，

（2）如图 17-39 所示，在 Vector Coordinate List 文本框中输入<4 1 0>，点击 Apply 按钮生成平板模型。

（3）点击菜单栏上的 Meshing 按钮，打开如图 17-40 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh Seed，Type=Uniform。

（4）如图 17-40 所示，选取 Number of Elements 选项，在 Number 文本框中输入数值 10，在 Curve List 文本框中选择长方形左侧短边，生成种子点。

（5）如图 17-41 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Mesh Seed，Type=One Way Bias，选择 L1 and L2 选项。分布在 L1=和 L2=文本框中输入数值 0.05 和 0.2，在 Curve List 文本框中选择长方形的长边。

（6）如图 17-42 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Surface。在页面中部依次设置 Elem Shape=Quad，Mesher=IsoMesh，Topology=Quad4，在 Surface List 文本框中选择长方形面，点击 Apply 按钮生成如图 17-43 所示的网格模型。

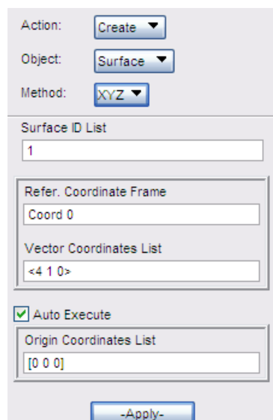


图 17-39 Geometry 页面

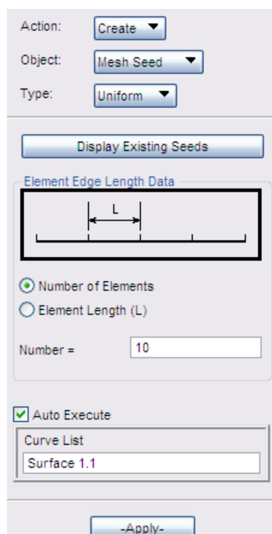


图 17-40 Finite Elements 页面

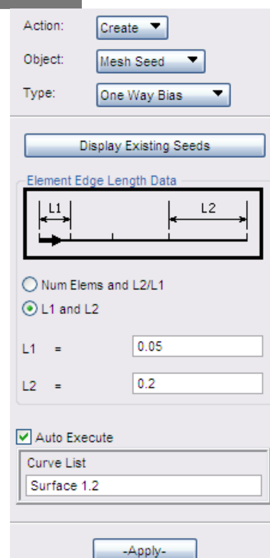


图 17-41 Finite Elements 页面

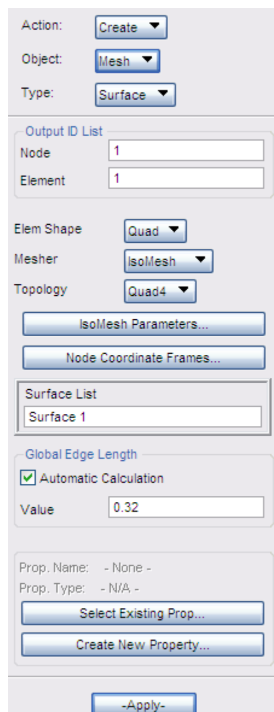


图 17-42 Finite Elements 页面

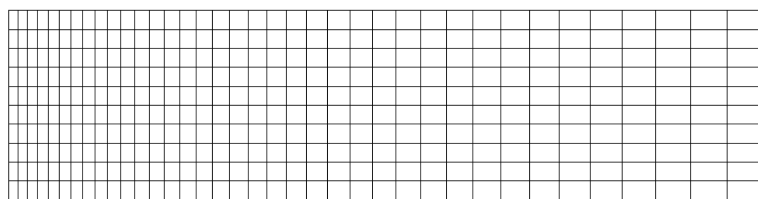


图 17-43 网格模型

17.4.3 定义材料本构关系

材料本构为塑性材料，数值采用试验点的方式进行输入。在 Patran 中，可以定义材料属性表格的方法实现。

（1）点击工具栏中的 Fields 按钮，打开如图 17-44 所示的 Fields 页面，依次设置

Action=Create，Object=Material Property，Method=Tabular Input。

（2）如图 17-44 所示，在 Field Name 文本框中输入 plastic_s_s，在 Active Independent Variables 复选框中选择 Strain(e)。

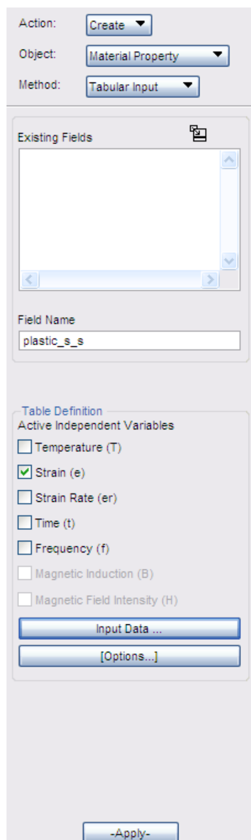
（3）如图 17-44 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 17-45 所示的 1D Material Scalar Table Data 页面，输入如图 17-45 所示的材料数据，点击 OK 按钮退出页面。

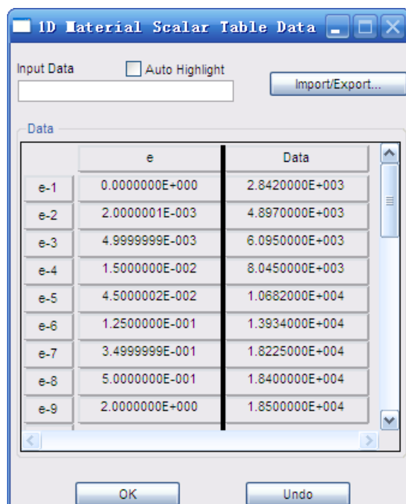
（4）如图 17-44 所示，点击 Apply 按钮建立表格。

（5）如图 17-46 所示，重新设置 Action=Show，在 Select Field To Show 列表中选择 plastic_s_s，点击 Specify Range…按钮，打开如图 17-47 所示的 Spectify Range 页面。选中 Use Existing Points 复选框，点击 OK 按钮退出 Specify Range 页面。

（6）如图 17-46 所示，点击 Apply 按钮弹出如图 17-48 所示的材料曲线图。

（7）点击工具栏中的 Material 按钮，打开如图 17-49 所示的 Materials 页面，依次设置 Action=Create，Object=Isotropic，Method=Manual Input。





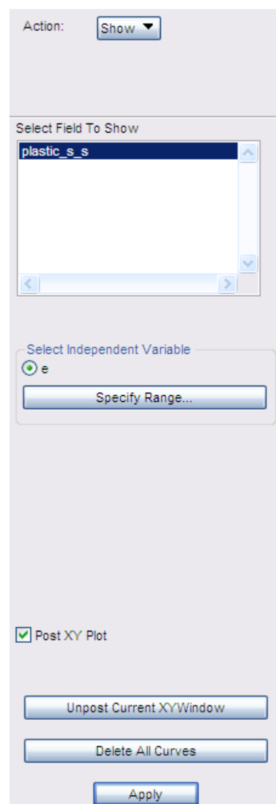
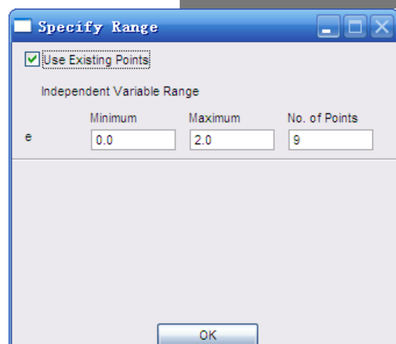


图 17-44　Fields 页面　　图 17-45　1D Material Scalar Table Data 页面　　图 17-46　Fields 页面

（8）如图 17-49 所示，在 Material Name 文本框中输入 mat。

（9）如图 17-49 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 17-50 所示的 Input Options 页面。设置 Constitutive Model=Linear Elastic，在 Elastic Modulus 文本框中输入数值 10000000，在 Poisson Ratio 文本框中输入数值 0.33000001，点击 OK 按钮退出页面。

（10）点击 Input Properties…按钮，打开如图 17-51 所示的 Input Options 页面，设置 Constitutive Model=Elastoplastic，在 Stress/Strain Curve 文本框中选择 plastic_s_s，点击 OK 退出页面。



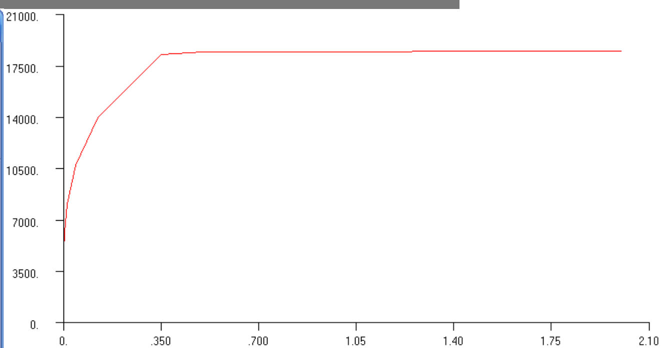
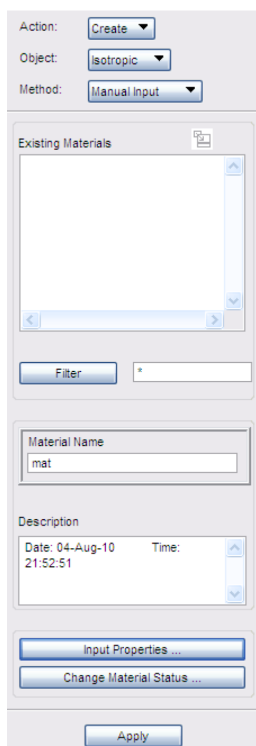


图 17-47　Spectify Range 页面

图 17-48　材料曲线



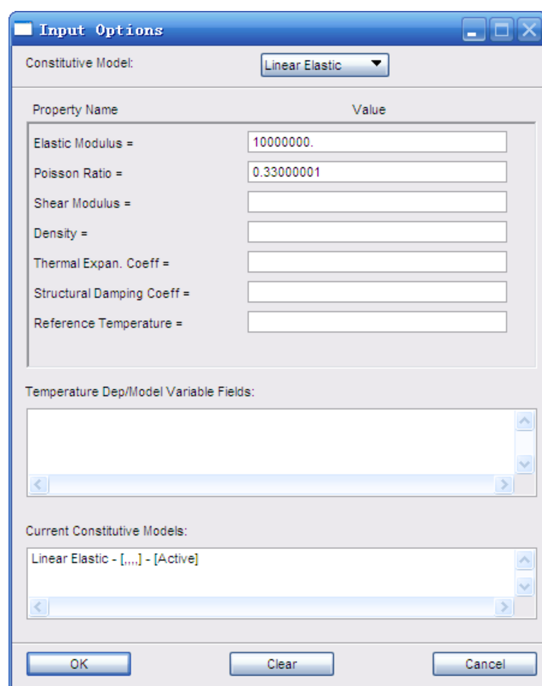


图 17-49　Materials 页面

图 17-50　Input Options 页面

（11）如图 17-49 所示，点击 Apply 按钮，完成弹塑性材料定义。

17.4.4 定义单元属性

（1）点击菜单栏上的 Property 按钮，打开如图 17-52 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=2D，Method=2D Solid。

（2）如图 17-52 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 specimen。

（3）如图 17-52 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 17-53 Input Properties 页面，点击 Material Name 右侧的按钮，打开 Select Material 页面，选择下拉列表框中的 mat，点击 OK 按钮退出页面。

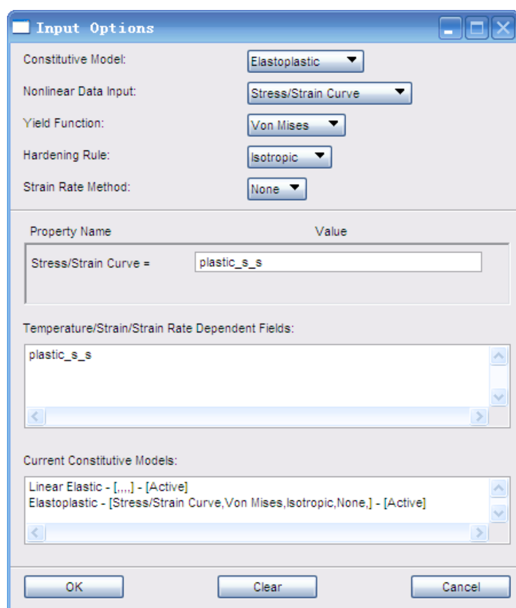


图 17-51　Input Options 页面

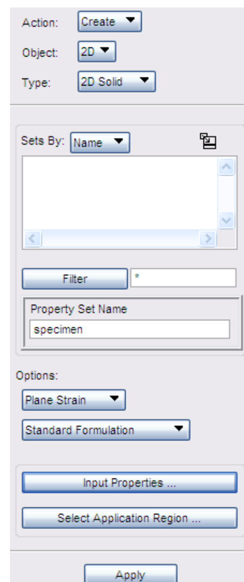


图 17-52　Element Properties 页面

（4）如图 17-52 所示，点击 Select Application Region...按钮，打开如图 17-54Select Application Region 页面，点击 Select Members 文本框，在图形区选择长方形面 Surface 1，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 17-52 所示，点击 Apply 按钮，完成单元属性的定义。

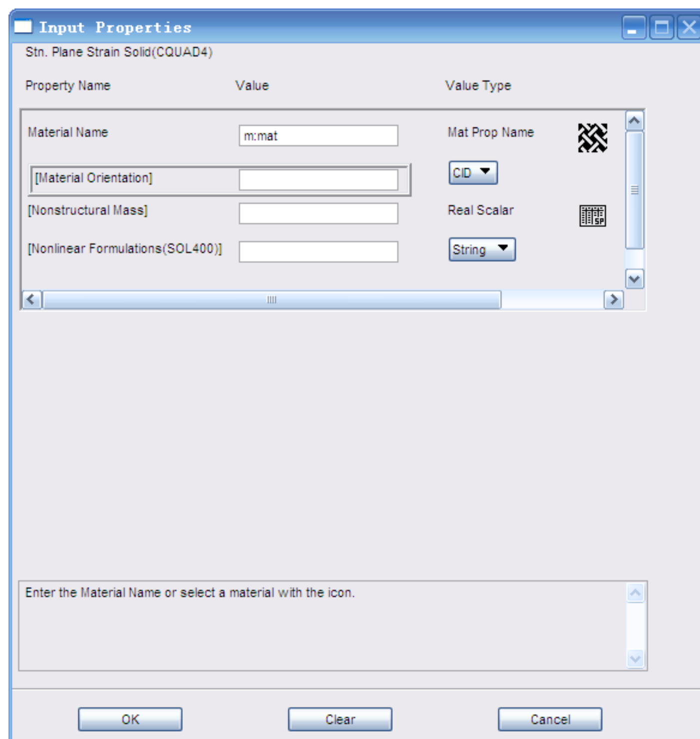


图 17-53　Input Properties 页面

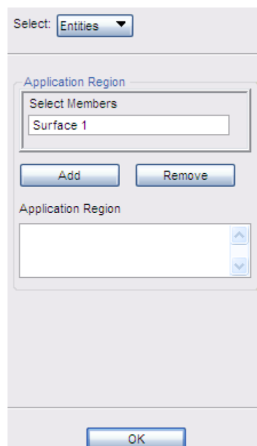


图 17-54　Select Application Region 页面

17.4.5 定义位移边界条件

这里采用对称模式下的位移边界条件。

（1）点击工具栏上的 Loads /BC 按钮，打开如图 17-55 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，重新依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Method=Nodal。

（2）如图 17-55 所示，在 New Set Name 文本框中输入 symmetry_x。

（3）如图 17-55 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 17-56 所示的 Input Data 页面，在 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<0,,>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 17-55 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 17-57 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，点击 Select Nodes 文本框，在图选区选择所有 X=0 的节点，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 文本框中，点击 OK 按钮退出页面

（5）如图 17-55 所示，点击 Apply 按钮，完成该位移边界条件定义。

（6）采用相同的方法定义位移边界条件 symmetry_y，其中 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<,0,>，选择长方形最上端的全部节点。

（7）采用相同的方法定义位移边界条件 pull，其中 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<1.65,0,>，选择长方形最右端的全部节点，最终得到如图 17-58 所示有限元模型。

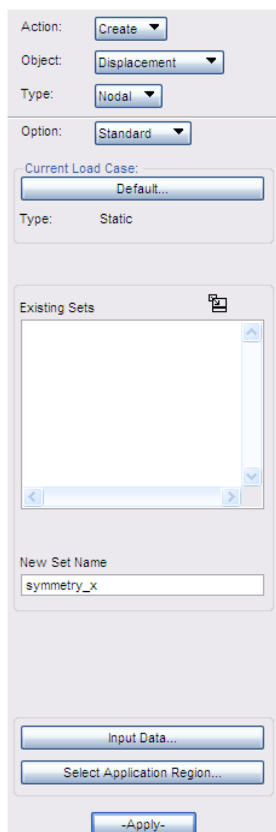


图 17-55 Load/Boundary Conditions

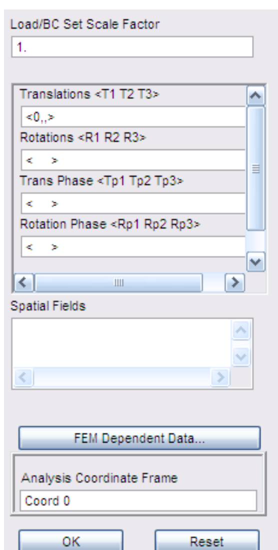


图 17-56 nput Data

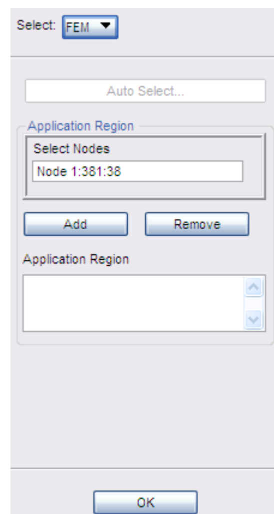


图 17-57 Select Application Region

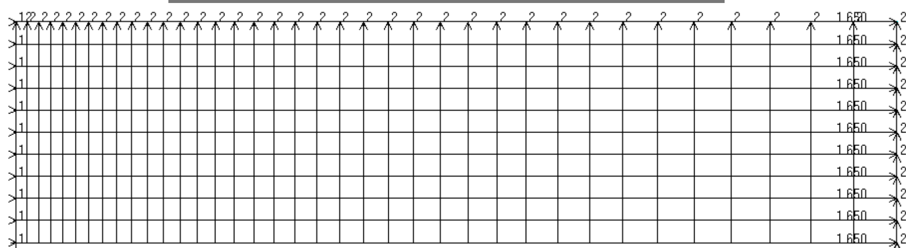
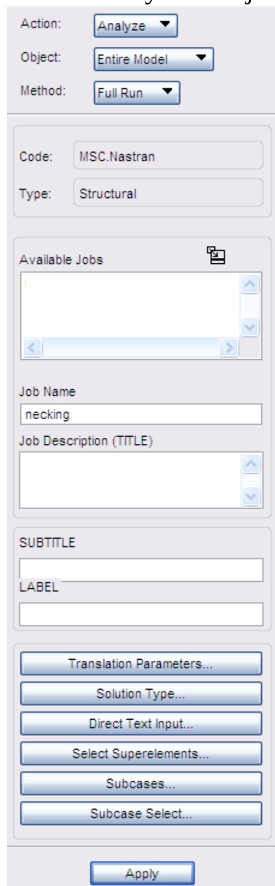
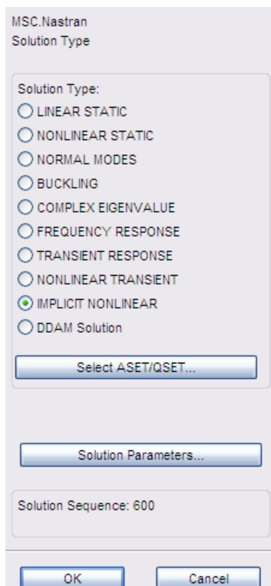


图 17-58　有限元模型

17.4.6 提交分析作业

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 17-59 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Objective=Entire Model 等。





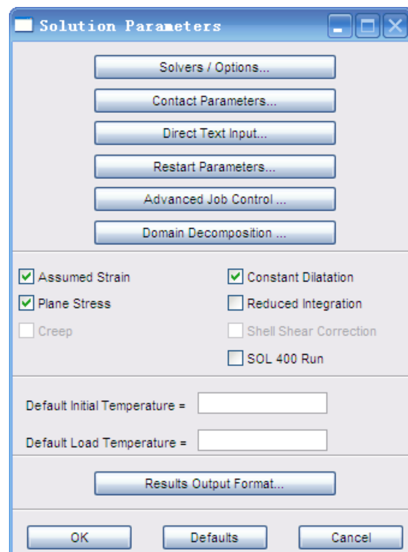


图 17-59　Analysis 页面　　图 17-60　Solution Type 页面　　图 17-61　Solution Parameters 页面

（2）如图 17-59 所示，点击 Solution Type…按钮，打开如图 17-60 所示的 Solution Type 页面。选择 IMPLICIT NONLINEAR，注意到下面的 Solution Sequence: 600。

（3）如图 17-60 所示，点击 Solution Parameters…按钮，打开如图 17-61 所示的 Solution Parameters 页面，勾选 Plane Stress 复选框，连续点击 OK 按钮两次，返回到 Analysis 页面。



技巧提示

在 Nastran 中，非线性静力分析序列包括 SOL 400 和 SOL 600 两种，其中 SOL 600 采用的是原有 MSC.Marc 求解器，具有强大的非线性求解能力。

（4）如图 17-59 所示，点击 Subcase…按钮，打开如图 17-62 所示的 Subcases 页面，在 Available Subcases 列表中选择 Default，点击 Subcase Parameters…按钮，打开如图 17-63 所示的 Static Solution Parameters 页面。点击 Load Increment Params…按钮，打开如图 17-64 所示的 Load Increment Parameters 页面，设置 Increment Type=Fixed，在[Number of Increments]文本框中输入数值 50，连续点击两次 OK 按钮回到 Subcases 页面。

（5）如图 17-62 所示，点击 Apply 按钮创建新的工况，点击 Cancel 按钮退出页面。

（6）如图 17-59 所示，点击 Apply 按钮创建新的数据文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择上述 bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行 bdf 文件，直至分析求解结束。

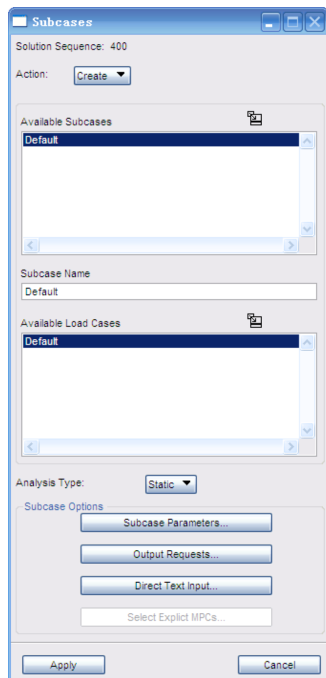


图 17-62　Subcases 页面

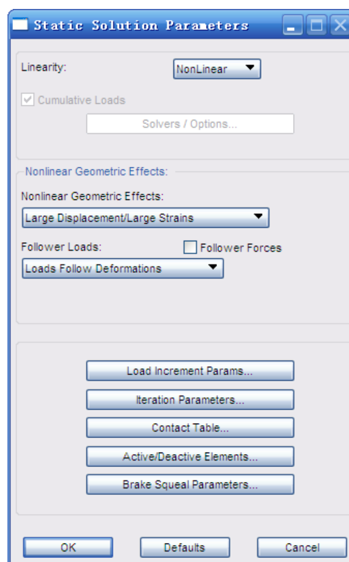


图 17-63　Static Solution Parameters 页面

17.4.7 结果后处理

（1）如图 17-65 所示 Analysis 页面，依次设置 Action=Access Results，Object=Attach XDB，Method=Result Entities。

（2）如图 17-65 所示，点击 Select Results File…按钮，选择 necking.marc.t16 结果文件，点击 Apply 按钮进行关联。

提示：Nastran 的 Sol 600 求解序列，实际上是调用了 MSC.Marc 的求解器，故而结果

文件采用 MSC.Marc 的文件形式。

（3）点击工具栏中的 Results 按钮，打开如图 17-66 所示 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick Plot。

（4）如图 17-66 所示，在 Select Result Cases 列表中选择最后一项。在 Select Fringe Result 列表框中选择 Stress, Cauchy，设置 Quantity: =von Mises。在 Select Deformation Result 列表框中选择 Displacement, Translation，点击 Apply 按钮，查看如图 17-67 所示的最终时刻柯西应力的等效应力云图。

（5）采用类似的方法，可以得到如图 17-68 所示变形的分析结果。

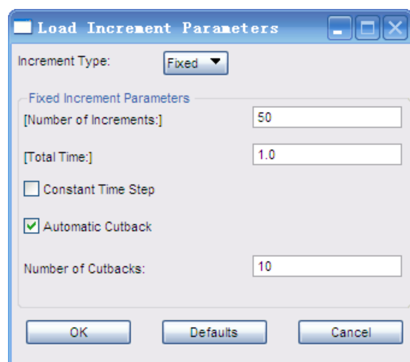


图 17-64　Load Increment Parameters 页面

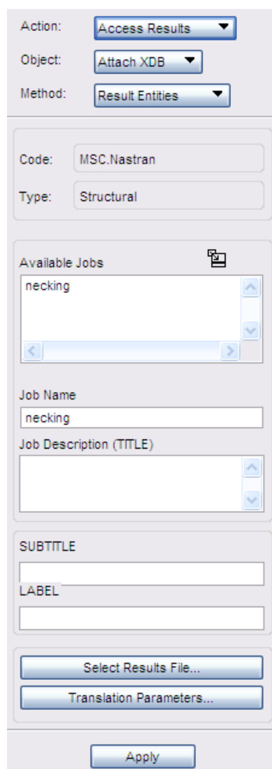


图 17-65　Analysis 页面

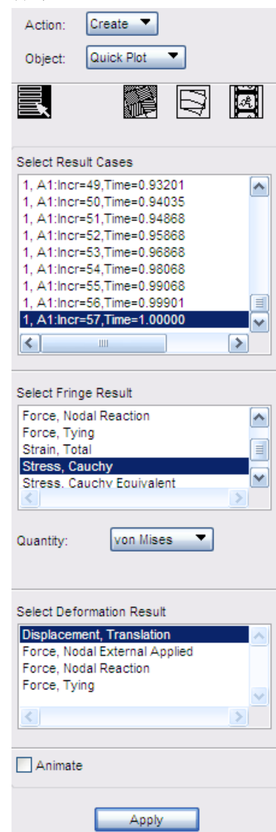


图 17-66　Results 页面

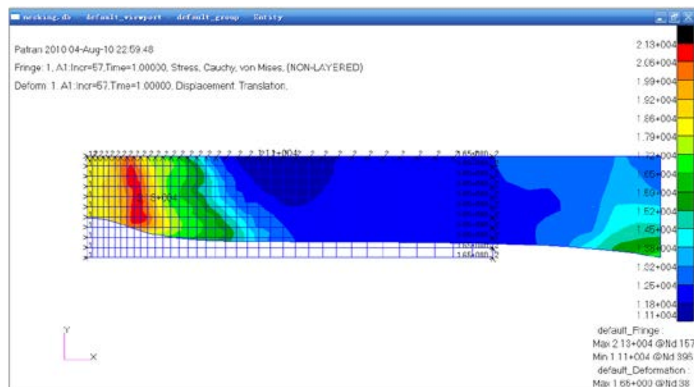


图 17-67　样件应力分布云图

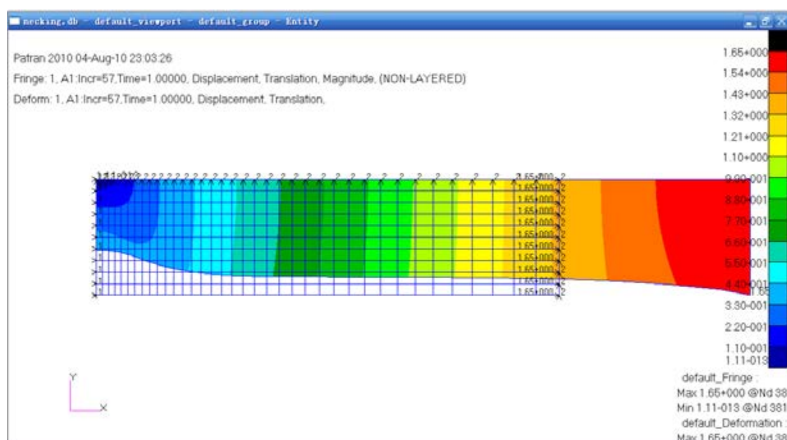


图 17-68　样件位移分布云图

17.5 橡胶压缩实例

如图 17-69 所示，本例分析汽车车门关闭时橡胶密封圈在车门作用下的应力与变形。密封圈采用橡胶材料，按照超弹性材料处理，本方程采用Mooney-Rivilin材料模型，其参数为C_{10}=80，C_{01}=20。由于车门刚度远大于橡胶，故而按照刚体进行处理。本例涉及到大位移、大变形、接触以及超弹性材料等多重非线性因素。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\rubber_seal.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\rubber_seal.bdf。

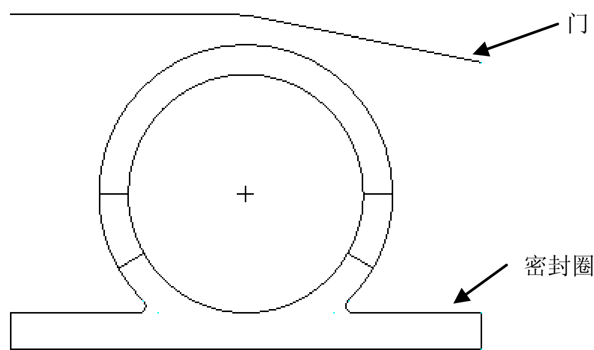


图 17-69　模型示意图

17.5.1 创建橡胶密封圈模型

本例采用读入 ses 文件的方式建立橡胶密封圈的几何模型，在此基础上进行网格划分，并保证面网格单元法向的一致性。

（1）点击菜单栏中的 File/New，在文件名中输入 rubber_seal.db，点击 OK 按钮。

（2）点击菜单栏中的 File-Session-Play，打开 Play Session File 对话框。

（3）选中文件 rubber_seal.ses，点击 Apply 按钮，使其运行该文件。

（4）点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 17-70 所示 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Curve，Method= Chain。

（5）如图 17-70 所示，点击 Curve List 文本框，在图形区选择上部全部曲线 Curve 2:4，点击 Apply 按钮，当屏幕提示 Do you wish to delete the constituent curve?时点击 Yes 按钮，创建一条曲线。

（6）点击工具栏上的 Elements 按钮，打开如图 17-71 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Surface。

（7）如图 17-71 所示，在页面中部设置 Elem Shape=Quad，Mesher=IsoMesh，Topology=Quad4，在 Surface List 文本框中选择密封圈上部的三个曲面 Surface 1:3，勾选取消 Automatic Calculation 选项，在 Value 文本框中输入数值 0.015，点击 Apply 按钮生成网格。

（8）采用相同的方法，针对下部的曲面 Surface 4 进行网格划分，所不同之处在于，设置 Mesher=Paver。



技巧提示

Paver 网格划分器主要是针对不规则平面几何而言的。

（9）如图 17-72Finite Elements 页面所示，重新依次设置 Action=Equivalence，Object= All，Method=Tolerance Cube，点击 Apply 按钮，删除重复节点，得到如图 17-73 所示的网格模型。

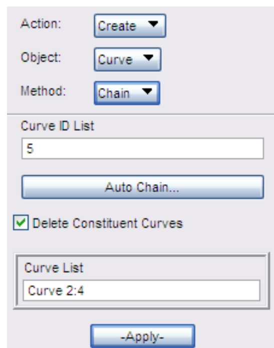


图 17-70　Geometry 页面

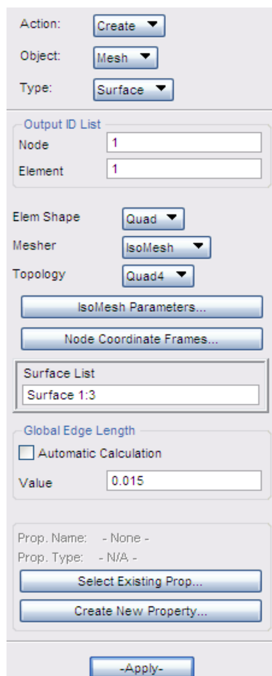


图 17-71　Finite Elements 页面

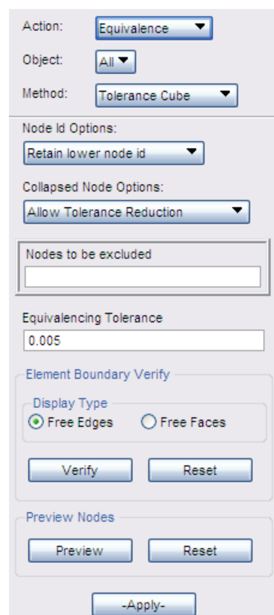


图 17-72　Finite Elements 页面

（10）重新设置 Action=Renumber，Object=Node，在 Starting ID(s)文本框中输入数值 1，在 Node List 文本框中选择所有节点，点击 Apply 按钮，完成节点重新编号。

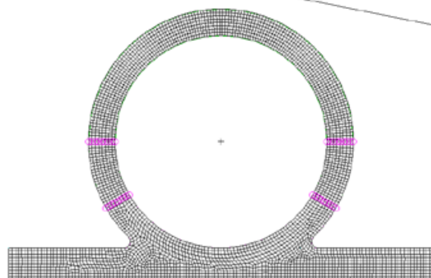


图 17-73　橡胶的网格模型

（11）如图 17-74 所示，重新依次设置 Action=Verfy，Object=Elements，Test=Normal，选择 Draw Normal Vectors 选项，点击 Apply 按钮，如图 17-36 所示，图形区显示每个单元的法向方向。

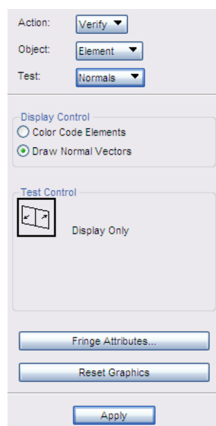


图 17-74　Finite Elements 页面

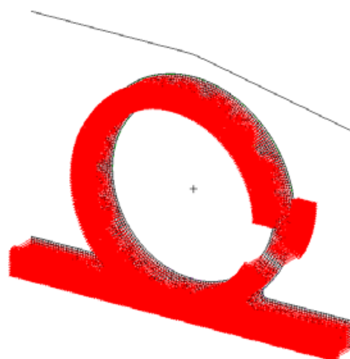


图 17-75　模型的法向显示

（12）如图 17-76 所示，点击页面中部的 Test Control 图标，使之处于 Reverse Elements 状态，在 Guiding Element 文本框内，在图形区选择任意法向为 Z 向的单元，点击 Apply 按钮，使所有单元的法向修正为 Z 轴正向，修正后的模型法向显示如图 17-77 所示。

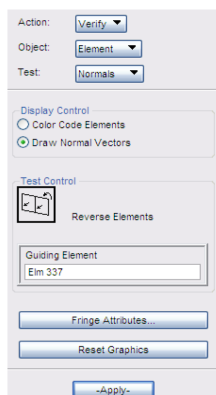


图 17-76　Finite Elements 页面

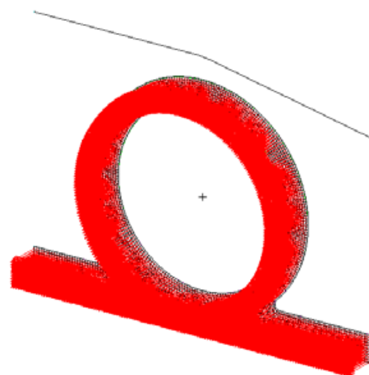


图 17-77　模型的法向显示



技巧提示

单元法向方向对二维单元非常重要，如果定义不正确，将导致无法求解计算。

17.5.2 定义材料本构关系

本节定义基于 Mooney Rivlin 模型的超弹性材料。

（1）点击工具栏 Preoperties 上的 Isotropic 按钮，打开如图 17-78 所示的 Materials 页面，重新依次设置 Action=Create，Objective=Isotropic，Method= Manual Input。

（2）如图 17-78 所示，在 Material Name 文本框中输入 rubber。

（3）如图 17-78 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 17-79 所示的 Input Options 页面，依次设置 Constitutive Modle=Hyperelastic，Compressiblity=Nearly Incompressible，Data Type=Coefficients，Strain Energy Potential=Mooney Rivlin MATHE。在 Strain Energy Function, C10 和 Strain Energy Function, C01 文本框中输入数值 80 和 20，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 17-78 所示，点击 Apply 按钮，完成超弹性材料的定义。

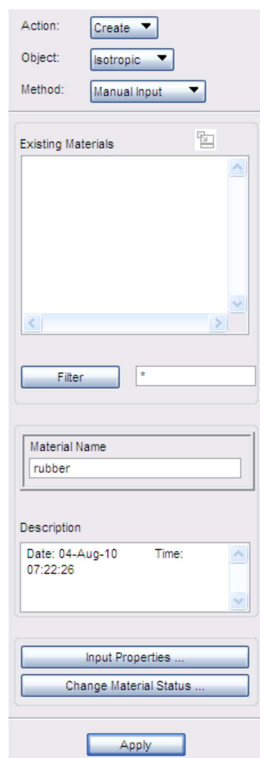


图 17-78　Materials 页面

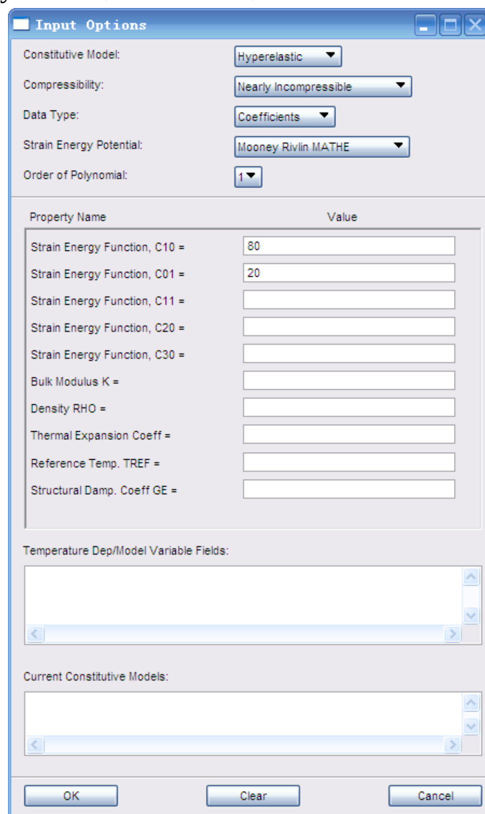


图 17-79　Input Options 页面

17.5.3 定义单元属性

本节将定义所有单元为 2D 平面应变单元，同时采用 Herrmann 单元，这是不可压缩材料必须采用的单元形式。

（1）点击工具栏上的 Properties 按钮，打开如图 17-80 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=2D，Type=2D Solid，

（2）如图 17-80 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 seal。在 Options 选项中，依次设置 Plane Strain 和 Hyperlastic Formulation。

（3）如图 17-80 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 17-81 所示的 Input Properties 页面，点击 Material Name 右侧的按钮，打开 Select Material 窗口，点击列表中的 rubber，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 17-80 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 17-82 所示的 Select Application Region 页面，在 Select Members 文本框中，在 Picking Filters 工具栏中点击 Shell Element 按钮，在图形区选择橡胶的全部单元，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 17-80 所示，点击 Apply 按钮完成单元属性定义。

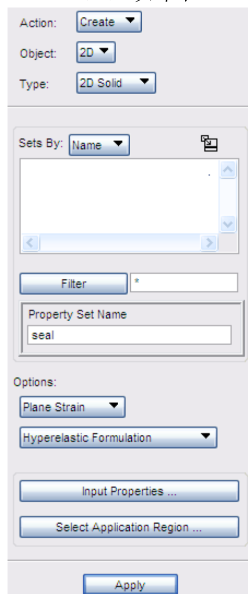


图 17-80　Element Properties 页面

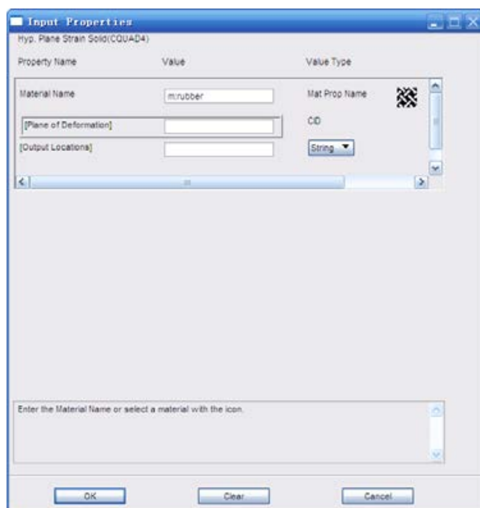


图 17-81　Input Properties 页面

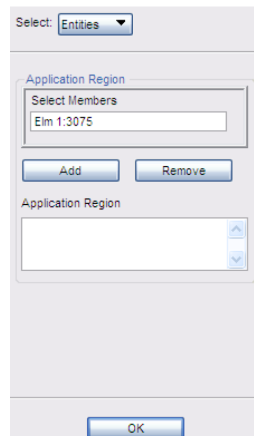


图 17-82　Select Application Region 页面

17.5.4 定义位移边界条件

为了防止橡胶密封圈在受到刚体挤压过程中发生整体的刚体位移，需要施加一定的位移约束，在密封圈底边施加 *X*, *Y* 向位移约束。

（1）点击菜单上的 Loads/BCs 按钮，打开如图 17-83 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Tyep=Nodal。

（2）如图 17-83 所示，在 New Set Name 文本框中输入 fixed。

（3）如图 17-83 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 17-84 所示的 Input Data 页面，在 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<0.,0.,0.>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 17-83 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 17-85 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，在 Select Nodes 文本框中选择底边全部节点，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

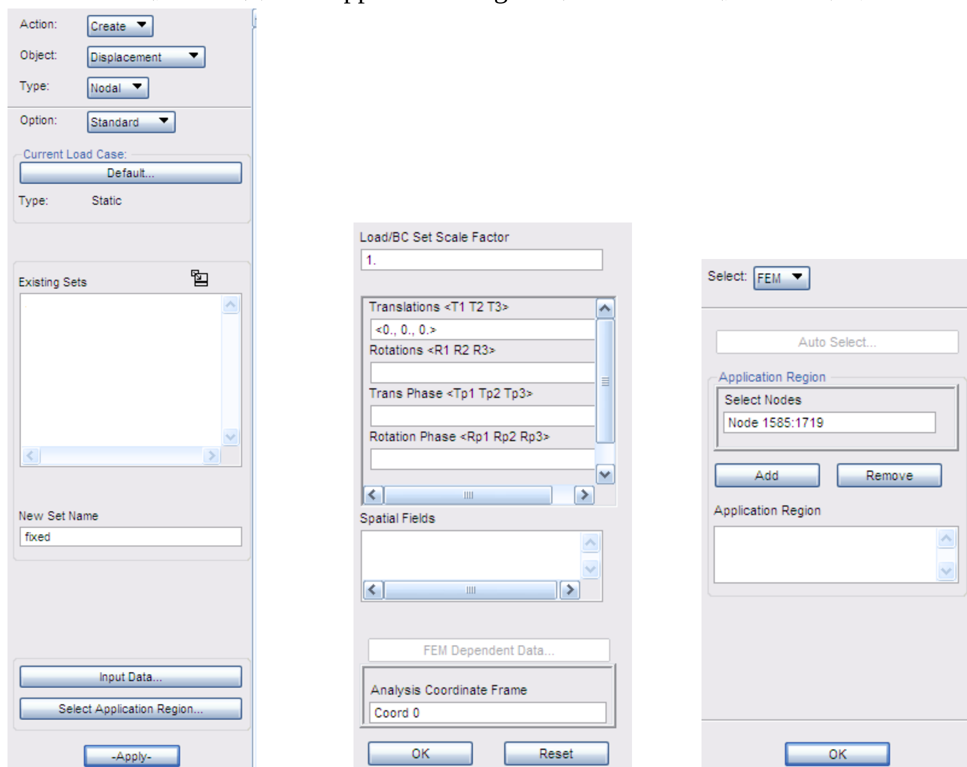


图 17-83　Load/Boundary Conditions 页面　图 17-84　Input Data 页面　图 17-85　Select Application Region 页面

（5）如图 17-83 所示，点击 Apply 按钮生成位移约束边界条件，得到如图 17-86 所示的有限元模型。

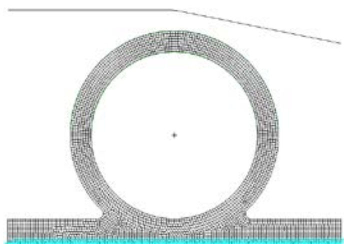


图 17-86　有限元模型

17.5.5 定义接触体

本节将橡胶密封圈定义为变形接触体，车门定义为刚性接触体。

（1）如图 17-87 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Contact，Type=Element Uniform，Option=Deformable Body。

（2）如图 17-87 所示，在 New Set Name 文本框中输入 rubber，设置 Target Element Type=2D。

（3）如图 17-87 所示，点击 Select Application Region…按钮，设置 Select=Geometry，在 Select Surfaces 文本框中选择全部平面，点击 Add 按钮，添加至 Master Region 文本框中，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 17-87 所示，点击 Apply 按钮生成接触体。

（5）重新设置 Option=Rigid Bod，在 New Set Name 文本框中输入 door，设置 Target Element Type=1D。

（6）如图 17-87 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 17-88 所示的 Input Data 页面，勾选 Flip Contact Side 选项，设置 Motion Control=Position，在 Displacement(vector)文本框中输入<-0.1,-0.7,0>，点击 OK 按钮退出页面。

（7）如图 17-87 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 17-89 所示的 Select Application Region 页面，设置 Geometry Filter=Geometry，在 Select Curves 文本框中选取橡胶顶上的曲线，点击 Add 按钮，添加至 Master Region 文本框中，点击 OK 按钮退出页面。

（8）如图 17-87 所示，点击 Apply 按钮，完成刚体的定义，得到如图 17-90 所示的有限元模型。

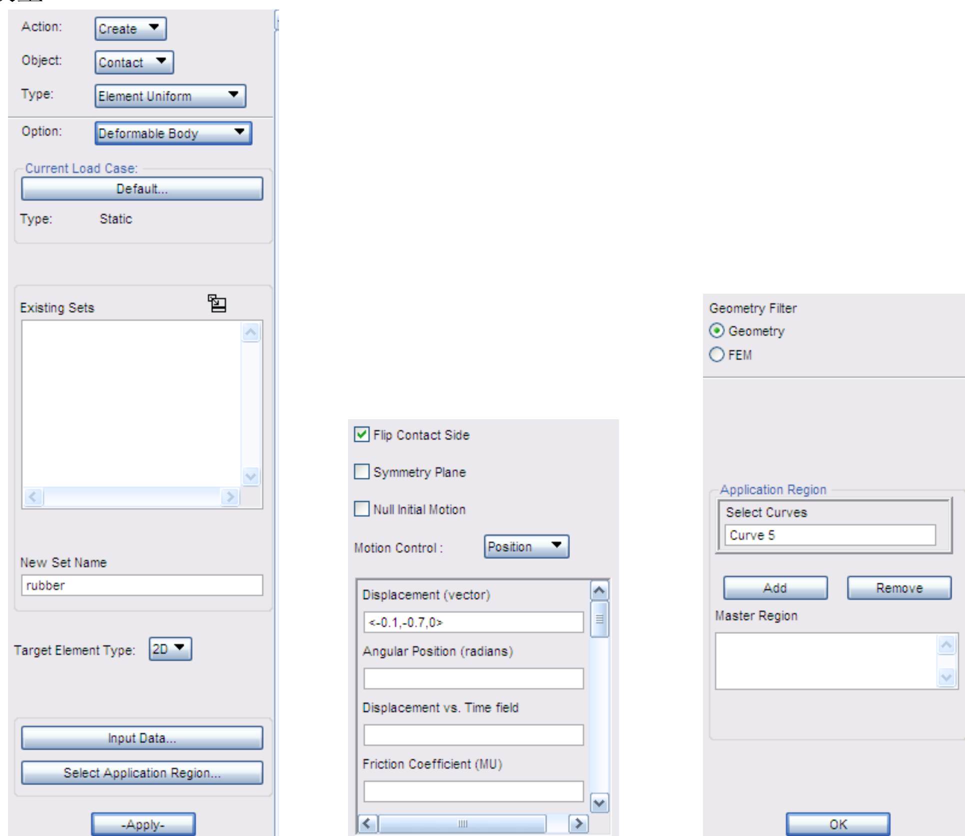


图 17-87　Load/Boundary Conditions 页面　图 17-88　Input Data 页面　图 17-89　Select Application Region 页面

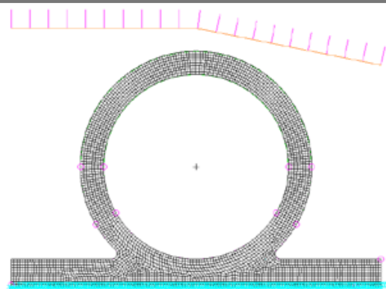


图 17-90　有限元模型

17.5.6 设置分析参数并提交分析

（1）点击工具栏中的 Analysis 按钮，打开如图 17-91 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 17-91 所示，点击 Solution Type…按钮，打开如图 17-92 所示 Soltion Type 页面，选择 IMPLICT NONLINEAR 选项，注意到 Solution Sequence: 600，点击 OK 按钮退出。

（3）如图 17-91 所示，点击 Subcase…按钮，点击 Available Subcase 列表中的 Default，点击 Subcase Parameters…按钮，打开如图 17-93 所示的 Static Solution Parameters 页面。在页面中点击 Contact Table…按钮，打开如图 17-94 所示的 Contact Table 页面，查看 Contact Table，连续点击两次 OK 按钮返回。

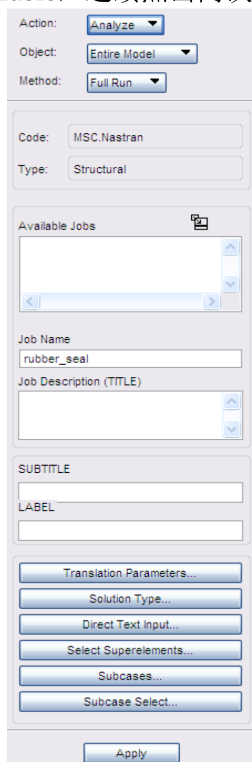


图 17-91　Analysis 页面

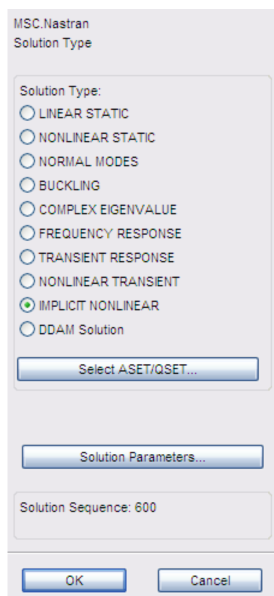


图 17-92　Soltion Type 页面

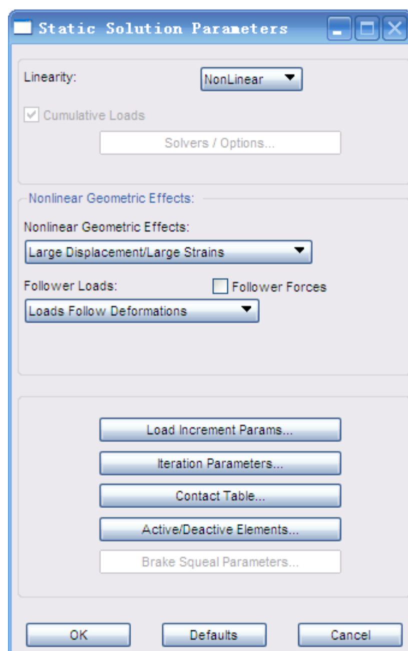


图 17-93　Static Solution Parameters 页面



技巧提示

用接触表指定多个接触体之间相互接触的接触体对，可以避免做不可能产生接触关系的解除他们之间的接触检查。

（4）如图 17-91 所示，点击 Apply 按钮创建 bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择上述 bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行 bdf 文件，直至分析求解结束。

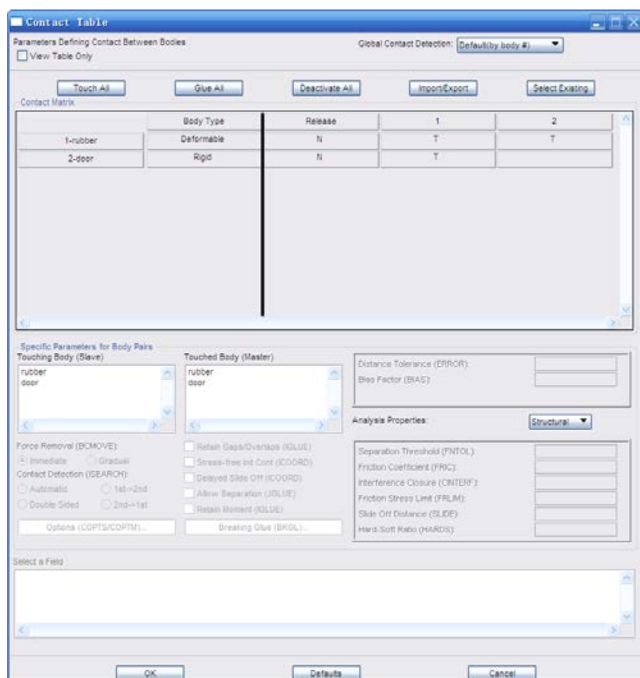


图 17-94　Contact Table

17.5.7 结果后处理

（1）在 Analysis 页面中，重新依次设置 Action=Access Results，Objective=Attach T16/T19，Method=Result Entities。

（2）点击 Select Results File…按钮，选择 rubber_seal.marc.t16 文件，点击 Apply 按钮实现结果关联。

（3）点击工具栏中的 Results 按钮，打开如图 17-95 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick Plot。

（4）如图 17-95 所示，在 Select Result Cases 列表中选择最后一项。在 Select Fringe Result 列表框中选择 Stress, Cauchy，设置 Quantity: =Max Principal。在 Select Deformation Result 列表框中选择 Displacement, Translation，点击 Apply 按钮，查看最终时刻的变形和柯西应力的最大主应力分布云图，如图 17-96 所示。

（5）如图 17-97 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Graph，Method=Y vs X。

（6）如图 17-97 所示，在 Select Result Cases 列表中选择最后一项。在 Select Result Cases 列表中选择所有结果。在 Select Y Result 列表中选择 Stress Cauchy 选项，设置 Quantity=Max Principal， X: =Global Variable， Variable:=Time。

（7）如图 17-98 所示，点击 Traget Entities 按钮，在 Select Nodes 输入框中，在图形区选择如图 17-99 所示的橡胶圈上的典型节点，点击 Apply 按钮，得到如图 17-100 所示的各点柯西最大主应力与时间的关系。

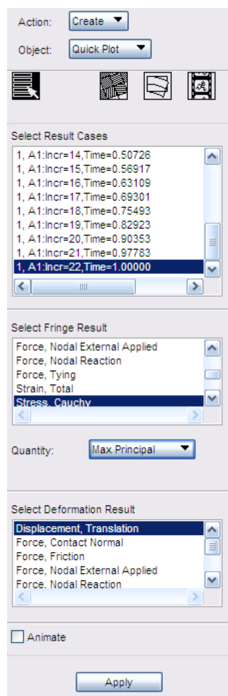


图 17-95　Results 页面

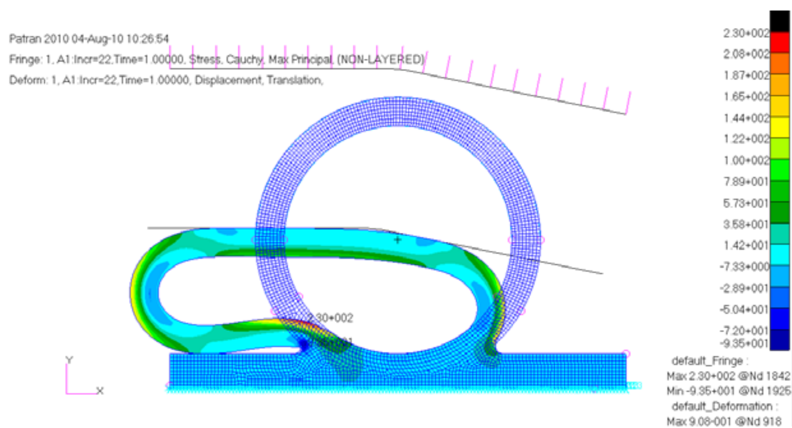


图 17-96　最终时刻下的变形与应力

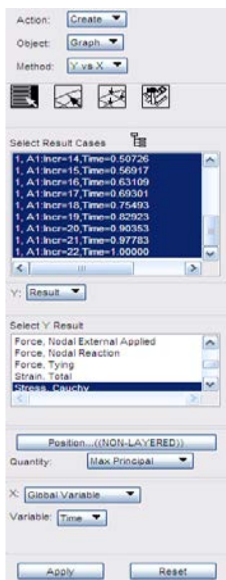


图 17-97　Results 页面

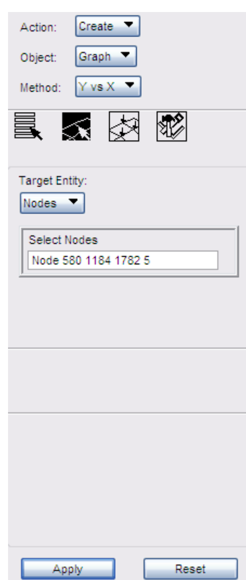


图 17-98　Results 页面

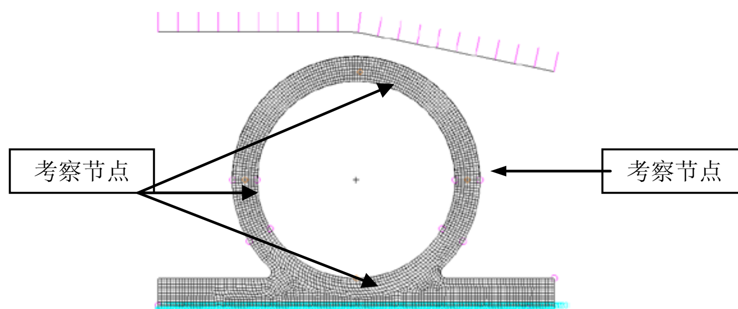


图 17-99　选取考查点示意

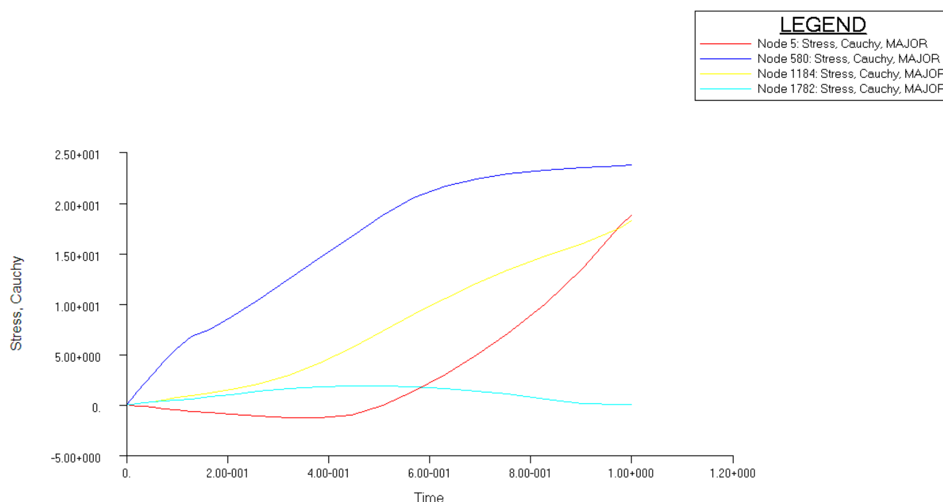


图 17-100　考查点应力变化曲线

17.6　三维接触分析

某金属长方体底部固定。一个刚性圆柱体半径为 10，长度为 18，位于长方体上方正中。圆柱体先向下挤压长方体，再向一侧无滑移滚动 0.5 弧度，挤压金属成型。其中长方体为理想塑性金属材料。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\indentation.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\indentation.bdf。

17.6.1 创建数据库模型

（1）点击菜单栏中的 File/New，在文件名中输入 indentation.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Based on Model，Analysis Code=MSC.Nastran，Analysis Type=Structure，点击 OK 退出页面。

17.6.2 创建几何与网格模型

（1）点击菜单栏上的 Geometry 按钮，打开如图 17-101 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Solid，Method=XYZ，

（2）如图 17-101 所示，在 Vector Coordinate List 文本框中输入<20 10 12>，点击 Apply 按钮生成长方体模型。

（3）点击菜单栏上的 Meshing 按钮，打开如图 17-102 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh Seed，Type=Uniform。

（4）如图 17-102 所示，选取 Number of Elements 选项，在 Number 文本框中输入数值 8，在 Curve List 文本框中选择长方体长边，生成种子点。

（5）采用相同的方法，设置长方体宽边和高边的种子数为 4。

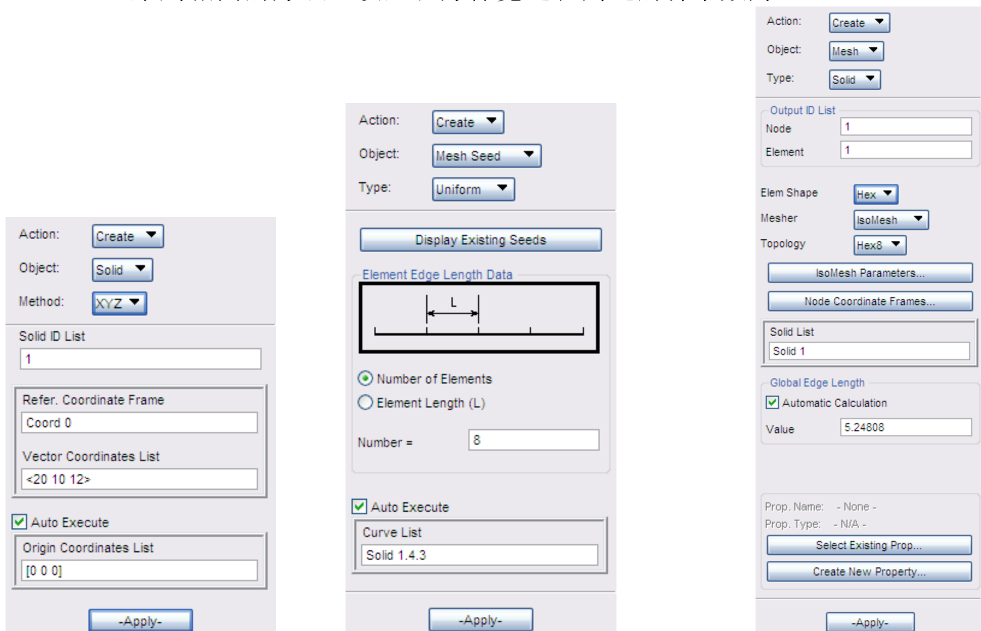


图 17-101　Geometry 页面　　图 17-102　Finite Elements 页面　　图 17-103　Finite Elements 页面

（6）如图 17-103 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Solid。在页面中部依次设置 Elem Shape=Hex，Mesher=IsoMesh，Topology=Hex8，在 Solid List 文本框中选择长方体，点击 Apply 按钮生成长方体网格模型。

（7）点击菜单栏上的 Geometry 按钮，打开如图 17-104 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Curve，Method=2D Circle。

（8）如图 17-104 所示，在 Circle Radius 中选择 Input Radius 按钮，并在文本框中输入数值 10。Construction Plane List 文本框中输入 Coord 0.2，在 Center Point List 文本框中输入[10 -4 22]，单击 Apply 按钮，在图形区生成一条圆周线。

（9）如图 17-105 所示的 Geometry 页面所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Surface，Method=Extrude。

（10）如图 17-105 所示，在 Translation Vector 文本框中输入<0 18 0>。在 Curve List 文本框中，在图形区选择刚创建的圆周线 Curve 1，在图形区生成一个圆柱面。

（11）点击菜单栏上的 Elements 按钮，打开如图 17-106 所示的 Finite Elements 页面，

依次设置 Action=Create，Object=Node，Method=Edit。

（12）如图 17-106 所示，在 Node Location List 文本框中输入[10 5 22]，单击 Apply 按钮，创建编号为 226 的节点。

（13）采用相同的方法，在 Node Location List 文本框中输入[10 -4 22]，单击 Apply 按钮，创建编号为 227 的节点。点击 Node Size 图标，得到如图 17-107 所示的模型。

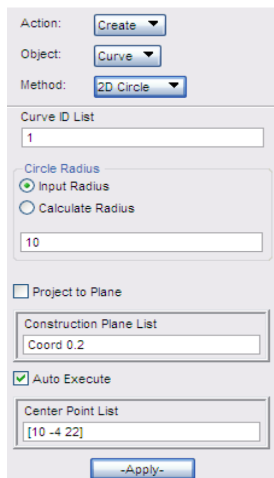


图 17-104　Geometry 页面

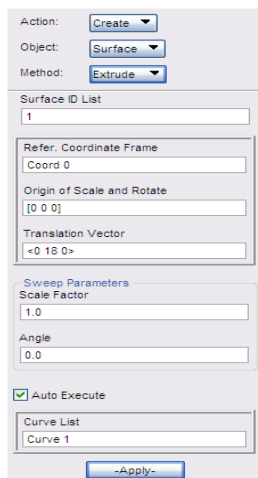


图 17-105　Geometry 页面

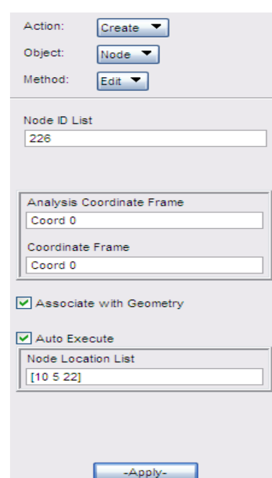


图 17-106　Finite Elements 页面

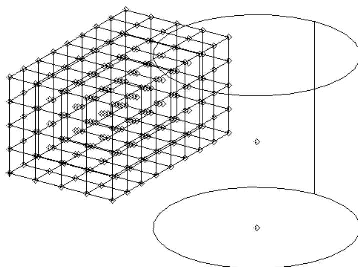


图 17-107　几何与网格模型

17.6.3 定义材料本构关系

（1）点击工具栏中的 Material 按钮，打开如图 17-108 所示的 Materials 页面，依次设置 Action=Create，Object=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 17-108 所示，在 Material Name 文本框中输入 block。

（3）如图 17-108 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 17-109 所示的 Input Options 页面。设置 Constitutive Model=Linear Elastic，在 Elastic Modulus 文本框中输入数值 17.5e6，在 Poisson Ratio 文本框中输入数值 0.3，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 17-108 所示，点击 Apply 按钮，完成弹性材料定义。

（5）点击 Existing Materials 列表中的 block，打开如图 17-110 所示的 Input Options 页面，设置 Constitutive Model=Elastoplastic，在 Nolinear Data Input 下拉列表中选择 Perfectly Plastic。

（6）如图 17-110 所示，在 Yield Point 文本框中输入数值 35000，点击 OK 按钮。

（7）如图 17-108 所示，点击 Apply 按钮，完成弹塑性材料定义。

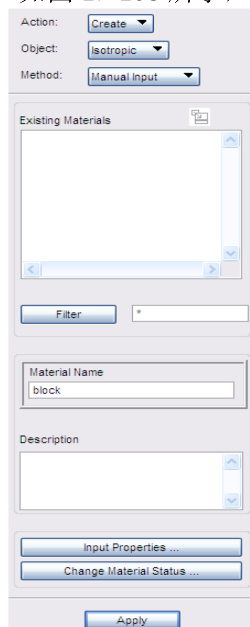


图 17-108　Materials 页面

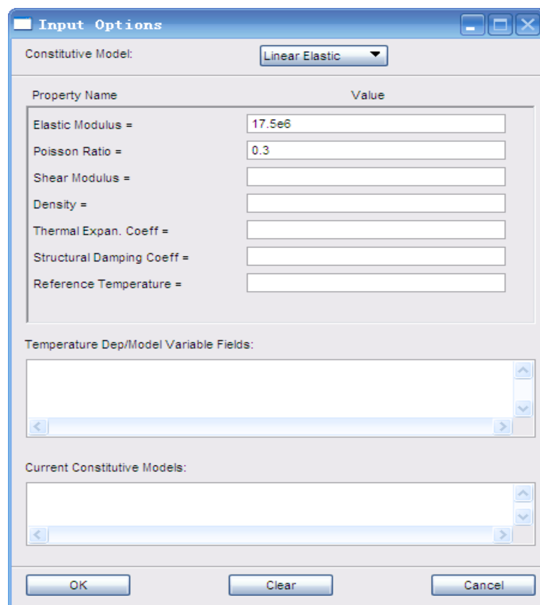


图 17-109　Input Options 页面

17.6.4 定义单元属性

（1）点击菜单栏上的按钮，打开如图 17-111 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=3D，Method=3D Solid。

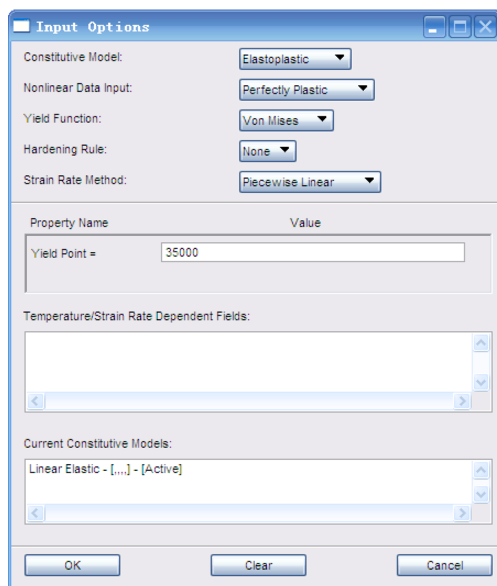


图 17-110　Input Options 页面

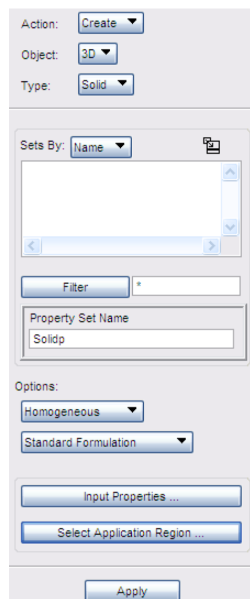


图 17-111　Element Properties 页面

（2）如图 17-111 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 Solidp。

（3）如图 17-111 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 17-112 所示的 Input Properties 页面，点击 Material Name 右侧的按钮，打开 Select Material 页面，选择下拉列表框中的 block，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 17-111 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 17-113 所示的 Select Application Region 页面，点击 Select Members 文本框，在图形区选择长方体 Solid 1，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 17-111 所示，点击 Apply 按钮，完成单元属性的定义。

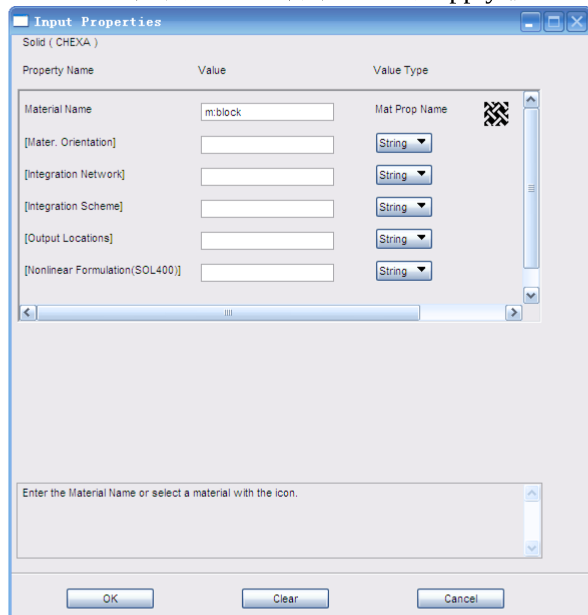


图 17-112　Input Properties 页面

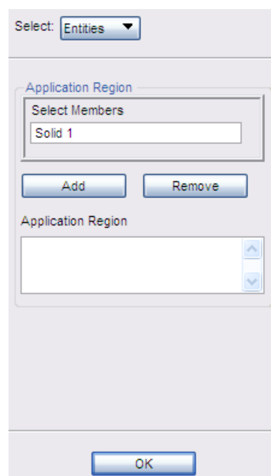


图 17-113　Select Application Region 页面

17.6.5 定义位移边界条件

（1）点击工具栏上的 Loads /BC 按钮，打开如图 17-114 所示的 Load/Boundary Conditions 页面，重新依次设置 Action=Create，Object=Displacement，Method=Nodal。

（2）如图 17-114 所示，在 New Set Name 文本框中输入 fixed。

（3）如图 17-114 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 17-115 所示的 Input Data 页面，在 Translations<T1 T2 T3>文本框中输入<0 0 0>，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 17-114 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 17-116 所示的 Select Application Region 页面，设置 Select=FEM，点击 Select Nodes 文本框，选择长方体底部所有节点，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 文本框中，点击 OK 按钮退出页面

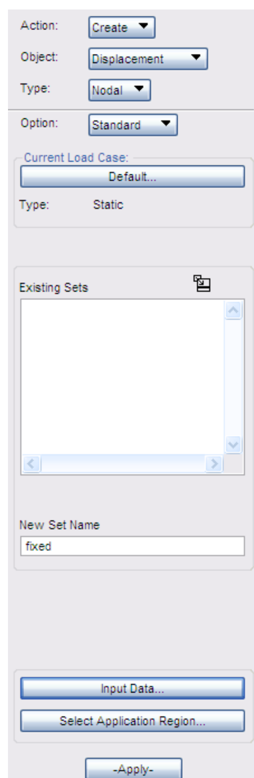
（5）如图 17-114 所示，点击 Apply 按钮，完成该位移边界条件定义。

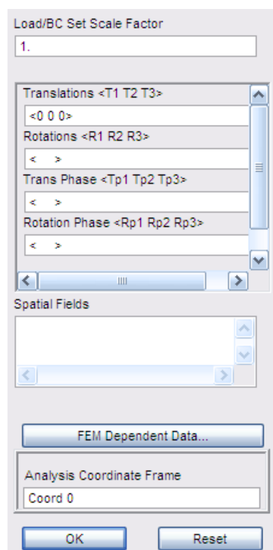
（6）采用上述相同的方法，定义位移边界条件 trans_control1，其中 Translations<T1 T2 T3>=<0 0 -6.25>，作用区域为节点 226。

（7）采用上述相同的方法，定义位移边界条件 trans_control2，其中 Translations<T1 T2 T3>=<5 0 -6.25>，作用区域为节点 226。

（8）采用上述相同的方法，定义位移边界条件 rot_control1，其中 Translations<T1 T2

T3>=<0 0 0>，作用区域为节点 227。





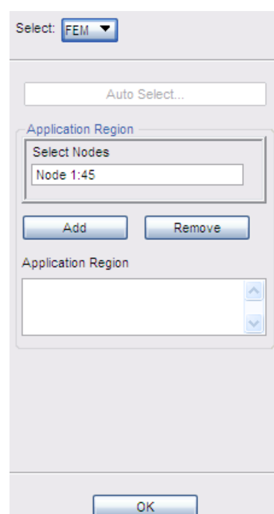


图 17-114　Load/Boundary Conditions　　图 17-115　Input Data　　图 17-116　Select Application Region

（9）采用上述相同的方法，定义位移边界条件 rot_control2，其中 Translations<T1 T2 T3>=<0 0.5 0>，作用区域为节点 227。



技巧提示

节点 227 是转动自由度控制点，在输入数据时，必须在 Translations 文本框中而非 Rotations 文本框中完成。

17.6.6 定义接触体

将长方体定义为变形接触体，圆柱面定义为刚性接触体。

（1）如图 17-117 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Contact，Type=Element Uniform，Option=Deformable Body。

（2）如图 17-117 所示，在 New Set Name 文本框中输入 workpiece，设置 Target Element Type=3D。

（3）如图 17-117 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 17-118 所示的 Select Application Region 页面。设置 Select=FEM，在 Select 3D Elements 文本框中选择全部实体单元，点击 Add 按钮，添加至 Master Region 文本框中，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 17-117 所示，点击 Apply 按钮生成接触体。

（5）如图 17-119 所示，重新设置 Option=Rigid Bod，在 New Set Name 文本框中输入 punch，设置 Target Element Type=2D。

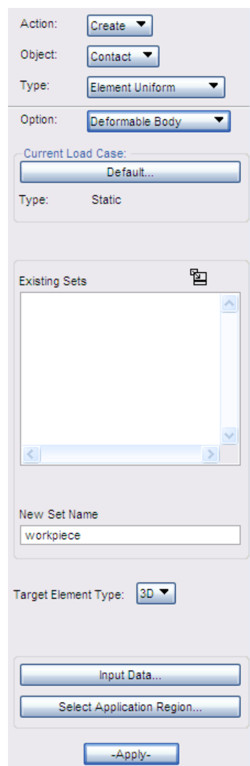


图 17-117　Load/Boundary Conditions

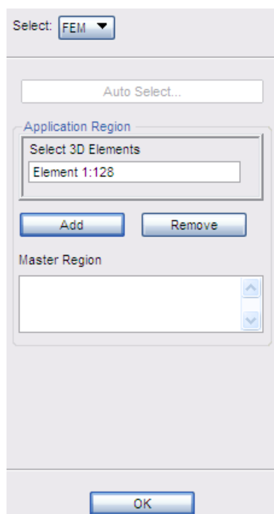


图 17-118　Select Application Region

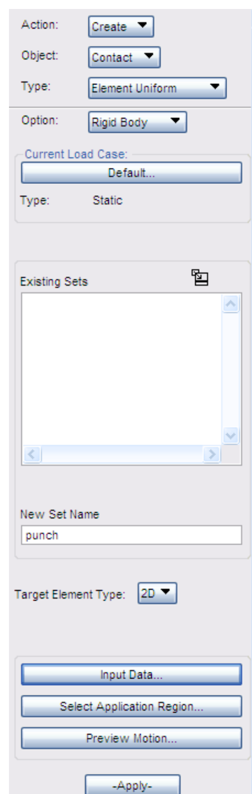


图 17-119 Load/Boundary Conditions

（6）如图 17-119 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 17-120 所示的 Input Data 页面，勾选 Flip Contact Side 选项，设置 Motion Control=Force/Moment，在 First Control Node 文本框中在图形区选择节点 226，在 Second Control Node 文本框中在图形区选择节点 227，在 Axis of Rotation 文本框中输入<0 1 0>，点击 OK 按钮退出页面。

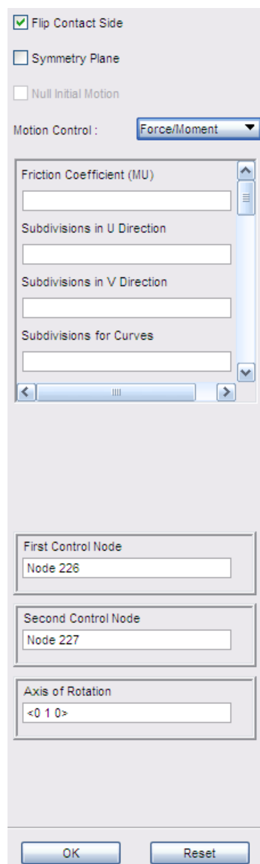


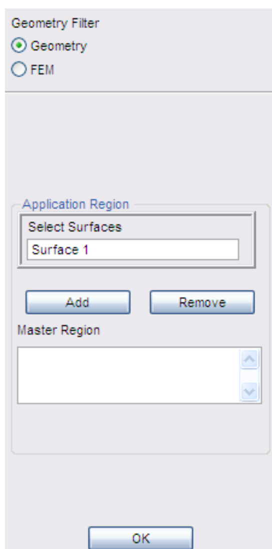
技巧提示

在 Motion Control 下拉列表中选择 Force/Moment，即刚体采用广义载荷控制，即力（矩）。First Control Node 即为平动自由度控制点，Second Control Node 即为转动自由度控制点。

（7）如图 17-119 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 17-121 所示的 Select Application Region 页面，设置 Geometry Filter=Geometry，在 Select Surfaces 文本框中选取圆柱面 Surface1，点击 Add 按钮，添加至 Master Region 文本框中，点击 OK 按钮退出页面。

（8）如图 17-119 所示，点击 Apply 按钮，完成刚体的定义，得到如图 17-122 所示的有限元模型。





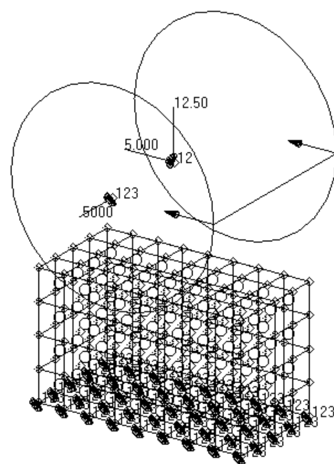


图 17-120　Input Data 页面　　图 17-121　Select Application Region 页面　　图 17-122　有限元模型

17.6.7 定义载荷工况

根据圆柱面刚性接触体 punch 的运动，可将整个金属成型过程分为两个阶段。

（1）单击工具栏上的 Load Cases 按钮，打开如图 17-123 所示的 Load Cases 页面，设置 Action=Create。

（2）如图 17-123 所示，在 Load Case Name 文本框中输入 step1。

（3）如图 17-123 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 17-124 所示的 Input Data 页面。在 Select Individual Load/BCs 列表中选择 Conta_puch、Conta_support、fixed、Displ_trans_control1 和 Displ_rot_control1，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 17-123 所示，点击 Apply 按钮完成载荷工况定义。

（5）采用相同的方法定义载荷工况 step2，其中包括了 Conta_puch、Conta_support、fixed、Displ_trans_control2 和 Displ_rot_control2。

17.6.8 设置分析参数并提交分析

（1）点击工具栏中的 Analysis 按钮，打开如图 17-125 所示的 Analysis 页面，依次设

置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

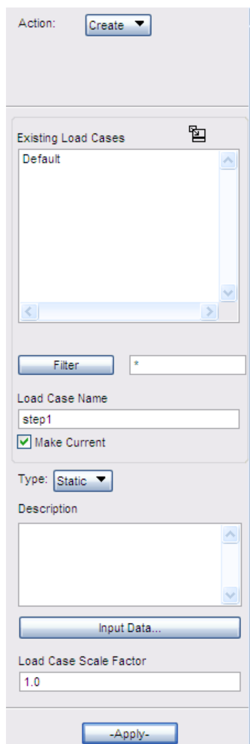


图 17-123　Load Cases 页面

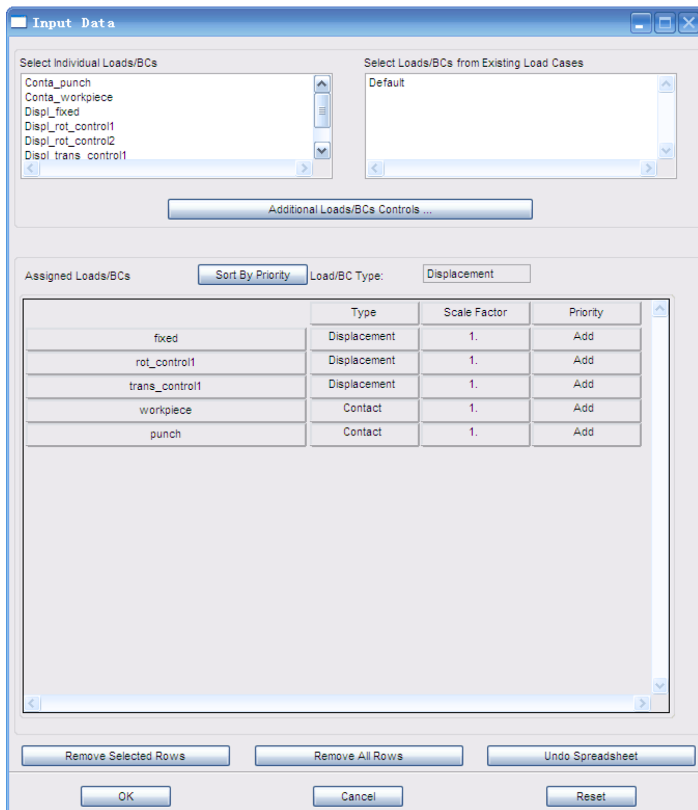


图 17-124　Input Data 页面

（2）如图 17-125 所示，点击 Solution Type…按钮，打开如图 17-126 所示的 Solution Type 页面，选择 IMPLICT NONLINEAR 选项，注意到 Solution Sequence: 600，点击 OK 按钮退出页面。

（3）如图 17-125 所示，点击 Subcase…按钮，打开如图 17-127 所示的 Subcases 页面，在 Subcases Name 文本框中输入 step1，点击 Available Load Cases 列表框中的 step1。

（4）如图 17-127 所示，点击 Subcase Parameters…按钮，打开如图 17-128 所示的 Static SolutionParameters 页面。

（5）如图 17-128 所示，点击 Load Increment Params…按钮，打开如图 17-129 所示的 Load Increment Paramenters 页面，在 Increment Type 下拉列表中选择 Fixed。在 Number of Increments 文本框中输入数值 25，单击 OK 按钮返回。

（6）如图 17-128 所示，点击 Iteration Parameters…按钮，打开如图 17-130 所示的 Iteration Parameters 页面，在 Tolerance Method 下拉列表中选择 Displacement，单击两次 OK 按钮返回，单击 Apply 按钮，创建作业。

（7）采用上述相同的方法定义 step2。在如图 17-127 所示的页面中，点击 Cancel 按钮退出页面。

（8）如图 17-125 所示，点击 Apply 按钮创建 bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择上述 bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行 bdf 文件，直至分析求解结束。

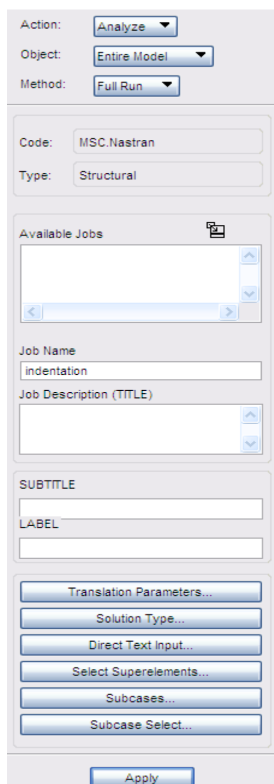


图 17-125　Analysis 页面

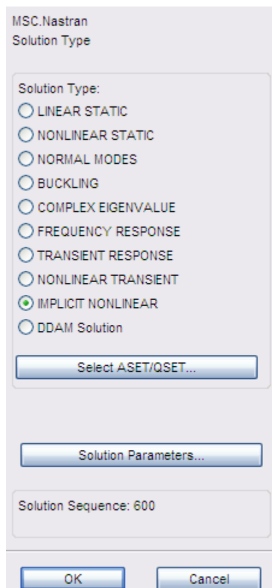


图 17-126　Solution Type 页面

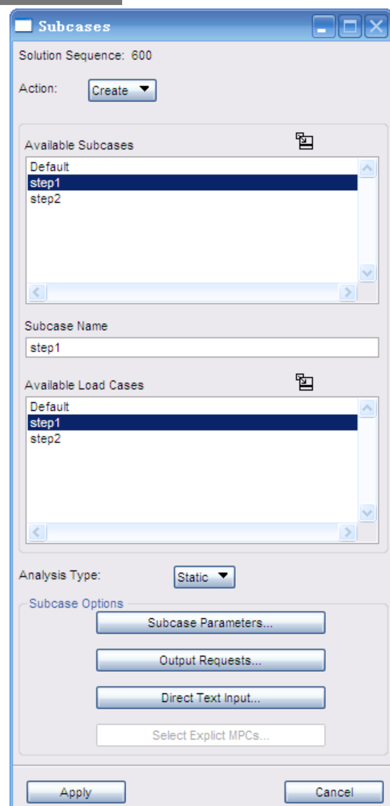


图 17-127　Subcases 页面

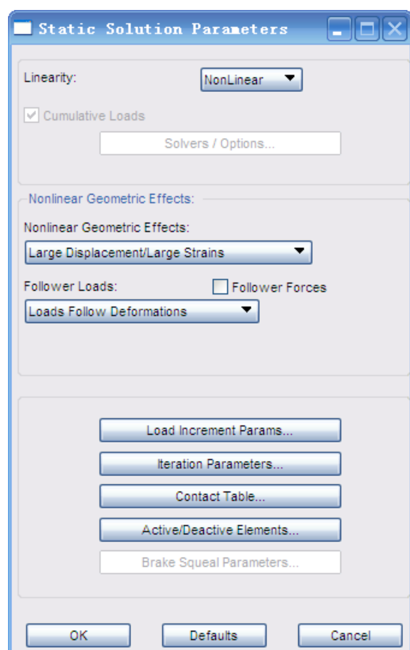


图 17-128　Static Solution Parameters 页面

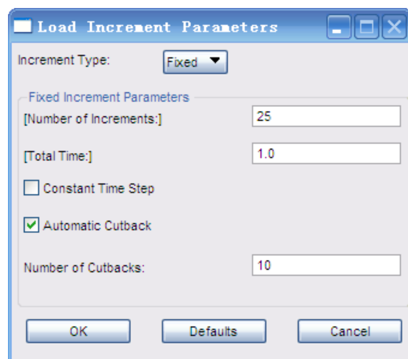


图 17-129　Load Increment Paraments 页面

17.6.9 结果后处理

（1）在 Analysis 页面中，重新依次设置 Action=Access Results，Objective=Attach T16/T19，Method=Result Entities。

（2）点击 Select Results File…按钮，选择.t16 文件，点击 Apply 按钮实现结果关联。

（3）点击工具栏中的 Results 按钮，打开如图 17-131 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick Plot。

（4）如图 17-131 所示，在 Select Result Cases 列表中选择 1, A1:Incr=25, Time=1.00000，在 Select Fringe Result 列表中选择 Displacement, Translation，在 Select Deformation Result 列表中选择 Displacement, Translation。点击 Apply 按钮，得到如图 17-132 所示的变形结果。

（5）采用相同的方法，得到如图 17-133 所示的时间 2.0 下的变形结果。

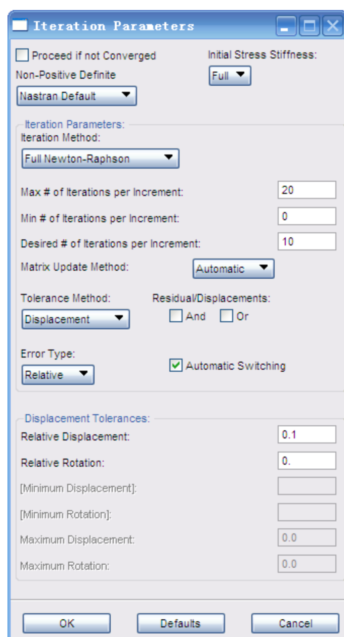


图 17-130 Iteration Paramenters 页面

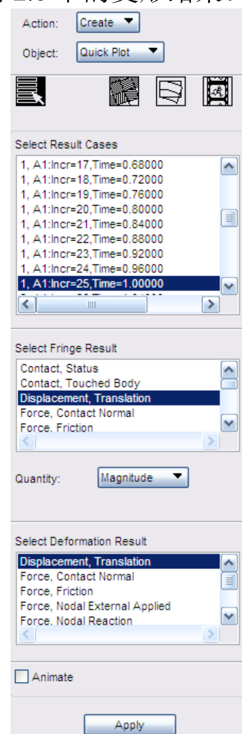


图 17-131 Results 页面

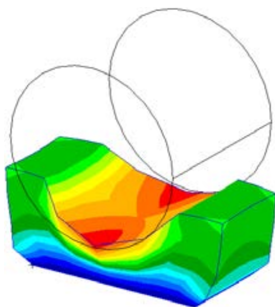


图 17-132 时间 1.0 下的变形结果

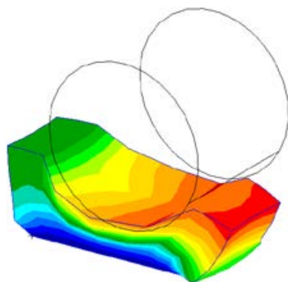


图 17-133 时间 2.0 下的变形结果

第 18 章　结构拓扑优化

内容导航



所谓“最优设计”，指的是一种方案可以满足所有的设计要求，而且所需的支出（如重量，面积，体积，应力，费用等）最小。即，最优设计方案就是一个最有效率的方案。设计方案的任何方面都是可以优化的。

通过本章的学习，读者可以了解使用 Patran 和 Nastran 进行拓扑优化的分析流程以及各参数的设置，完整深入掌握拓扑优化的功能和方法。

重点剖析

* 拓扑优化概述
* 悬臂梁拓扑优化实例
* 连杆拓扑优化实例

18.1　拓扑优化概述

均匀化法(homogenization method)和变密度法(variable density method)是目前最为常见的两种连续体结构拓扑优化方法。早期的MSC.Nastran的拓扑优化功能是基于均匀化法的，而目前则采用了广为工程应用普遍接受的变密度法。变密度中受均匀化法的启发，但不引入微孔结构，相对均匀化方法具有设计变量少的优点。变密度法以每个单元的相对密度作为设计变量，同时引入密度与材料弹性模量的假设函数关系，敏度推导简单且求解效率高。变密度法中常见的插值模型包括Hashin-Shtrikman模型固体各向同性惩罚微结构模型(solid isotropic microstructures with penalization，SIMP)[1]和材料属性的有理近似模型(rational approximation of material properties，RAMP)[2]等。

SIMP 材料插值数学模型为

$$E = \rho^{p} E_0 \tag{18.1}$$

在基于 SIMP 材料插值模型的变密度法中，通常以结构响应量最小化或最大化为目标，设定体积比约束。在静力优化问题中，通常以以结构柔顺度最小化（或刚度最大化、应变能最小化）作为优化的目标函数，以结构体积比约束作为优化的约束函数。刚度优化的数学模型表示为

$$\begin{aligned} &\min\quad C = \boldsymbol{F}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{U} = \boldsymbol{U}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{K}\boldsymbol{U} \\ &\text{s.t.}\begin{cases} V(\rho)/V_0 - f \le 0 \\ \boldsymbol{K}\boldsymbol{U} = \boldsymbol{F} \\ 0 < \rho_{\min} \le \rho_i \le 1 \end{cases} \end{aligned} \tag{18.2}$$

式中C为柔顺度值，$\boldsymbol{K}$，$\boldsymbol{U}$，$\boldsymbol{F}$分别表示总刚度阵，总位移。V_0和V分别表示初始结构和优

化结构体积，f是体积比。$\rho_{\min}$ 是拓扑变量下限，用于避免有限元分析奇异性，通常可取拓扑变量下限值 $\rho_{\min}=10^{-3}$。

在拓扑优化的求解中，通常需要用到结构响应量相对于单元密度变量的敏度值，大多数的敏度表达式的推导均基于伴随法。下面以柔顺度响应量为例，推导其敏度表达式。

根据静力平衡方程 $\boldsymbol{KU}=\boldsymbol{F}$，引入伴随向量 $\hat{\boldsymbol{U}}$ 有

$$C=\boldsymbol{F}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{U}-\hat{\boldsymbol{U}}^{\mathrm{T}}\left(\boldsymbol{KU}-\boldsymbol{F}\right) \tag{18.3}$$

式(18.3)两边对密度变量 ρ_i 求偏导数得

$$\frac{\partial C}{\partial\rho_i}=\left(\boldsymbol{F}^{\mathrm{T}}-\hat{\boldsymbol{U}}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{K}\right)\frac{\partial\boldsymbol{U}}{\partial\rho_i}-\hat{\boldsymbol{U}}^{\mathrm{T}}\frac{\partial\boldsymbol{K}}{\partial\rho_i}\boldsymbol{U} \tag{18.4}$$

根据 $\boldsymbol{K}$ 的对称性，建立伴随方程 $\boldsymbol{K}\hat{\boldsymbol{U}}=\boldsymbol{F}$，即 $\hat{\boldsymbol{U}}=\boldsymbol{U}$，则有

$$\frac{\partial C}{\partial\rho_i}=-\boldsymbol{U}^{\mathrm{T}}\frac{\partial\boldsymbol{K}}{\partial\rho_i}\boldsymbol{U} \tag{18.5}$$

根据 SIMP 材料插值模型有

$$\frac{\partial C}{\partial\rho_i}=-p\left(\rho_i\right)^{p-1}\boldsymbol{U}_e^{\mathrm{T}}\boldsymbol{K}_i^0\boldsymbol{U}_e \tag{18.6}$$

由式(18.6)可知，由于单元应变能具有非负性，故而柔顺度敏度值恒为负，其对应的物理意义也很明显，即删除任意单元，均会增大结构的柔顺度值。

其他结构响应量的敏度表达式这里就不再详细推导，可参考相关文献。

在连续体结构拓扑优化结果中，普遍存在着棋盘格现象(checkerboards)和网格依赖问题(mesh dependence)等数值不稳定性现象[3]，如图 18-1 所示。棋盘格现象指最优拓扑优化结果中出现材料和孔洞交错布置，因其材料分布形式酷似国际象棋棋盘而得名。棋盘格模式与优化问题解的存在性和有限元近似的收敛性有关，是以“弱收敛”的方式逼近原问题的真实解。网格依赖性指拓扑优化结果随离散网格密度不同而不同。通常情况下，随着网格的加密，最优拓扑出现更多的细小分枝结构。出现网格依赖性的原因可能是问题本身无离散解，随着网格的无限加密，可以得到越来越复杂的最优拓扑图形。

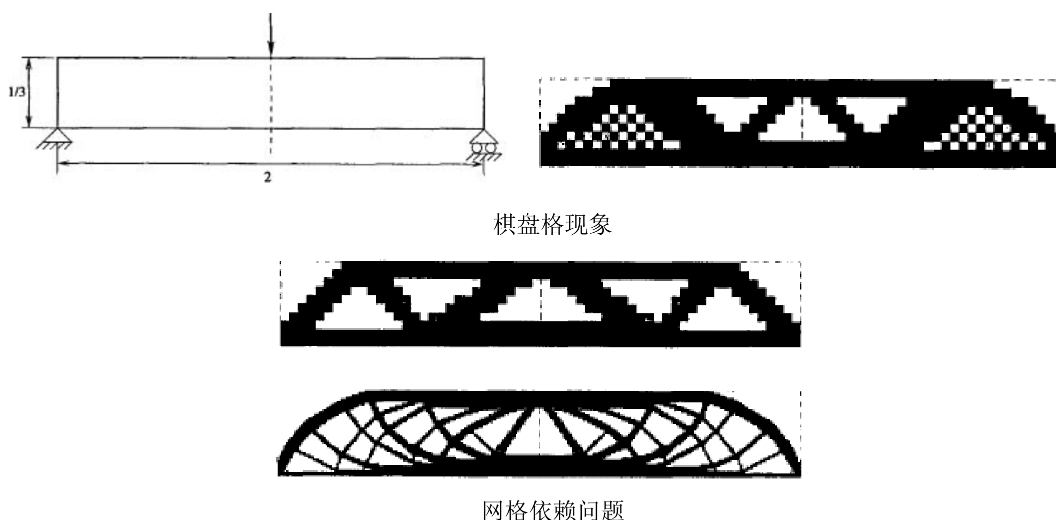


图 18-1　拓扑优化中的数值不稳定问题

相对而言，消除棋盘格现象及网格依赖性的研究较多。一般说来，棋盘格现象和网格依赖性问题易同时发生，且消除网格依赖性的措施同样具有抑制棋盘格现象的作用。目前常见的解决方法包括：采用高阶等参元、非协调元或杂交元以抑制棋盘格现象；周长约束法、局部梯度法、过滤法等消除网格依赖问题。在MSC.Nastran中，可以采用设置最小尺寸约束的方法以抑制棋盘格现象和消除网格依赖性等问题[4]。其中最小尺寸值可以为平均单元尺寸的 1.0～3.0 倍。

18.2　MBB 梁拓扑优化实例

MBB 梁的是连续体结构拓扑优化研究中的经典二维平面算例，主要用于考察方法处理棋盘格和网格依赖性问题的能力。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\mbb.db

（2）bdf 文件和结果文件：\mbb.bdf

18.2.1 创建分析模型

首先创建拓扑优化所需的有限元模型，具体过程这里不再详述，具体过程如下。

创建一个 60×20 的几何平板，材料弹性模量为 2.1e5，泊松比为 0.3，使用参数 Global Edge Length=1.0，对其进行自动网格划分，生成 1200 个 Quad4 单元。将右下角点 y 向自由度约束，左边边界所有节点 x 向自由度约束，左上角点受到垂直向下的单位载荷左右。最后得到如图 18-2 所示的 MBB 梁有限元模型。

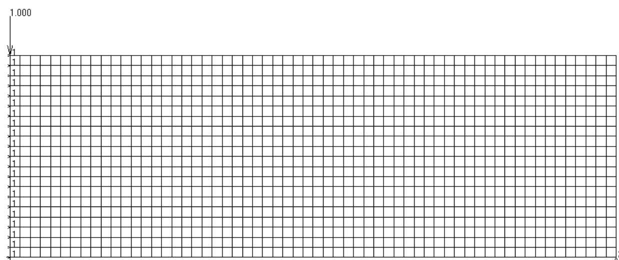


图 18-2　MBB 梁网格模型

18.2.2 创建拓扑优化模型

（1）点击菜单栏中的 Analysis 下的 Optimize 按钮，打开如图 18-3 所示的 Analysis 页面。

（2）如图 18-3 所示，在页面中部 Job Name 文本框中输入 Mbb。

（3）如图 18-3 所示，点击 Objectives & Constraints…按钮，打开如图 18-4 所示的 Objectives and Constraints 页面，该页面用于定义拓扑优化目标函数和约束函数。

（4）如图 18-4 所示，设置 Type=Topology。在目标函数中(Objective Function)选择最

小柔顺度(Minimize Compliance)，即以结构刚度最大化为目标。在约束函数中设置 Constraint Target=Mass Fraction。在 Mass Target Constraint 文本框中输入数值 0.4，点击 OK 按钮退出页面。



技巧提示

柔顺度最小化目标是静力拓扑优化问题中最常见的优化模型之一，体积（或质量）比约束代表了剩余体积（或质量）的比例。

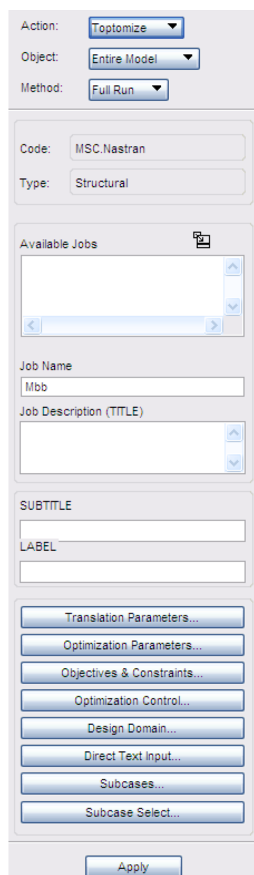


图 18-3　Analysis 页面

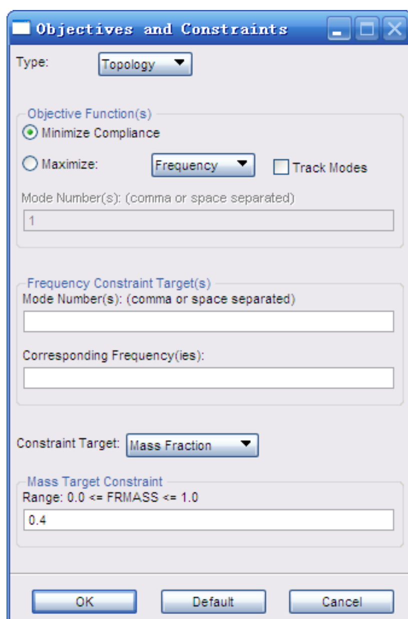


图 18-4　Objcetives and Constraints 页面

（5）如图 18-3 所示，点击 Optimization Control…选项，打开如图 18-5 所示的 Optimization Control Param…页面。

（6）如图 18-5 所示，在该页面中，可以对拓扑优化的初始密度参数、最小下限值、最大循环次数、惩罚因子、运动极限、收敛容差以及最小结构尺寸进行定义。在本例中，指定的初始密度参数 Initial Design(0.0<XINIT<=1.0)为 0.4，最小下限值 Lower Bounds(0.0<XLB<=0.1)为 0.001，最大循环次数 Maximum Design Cycles(DESMAX>0)为 50，惩罚因子 Penalty Factor(1.0<-POWER<=6.0)为 3.0，运动极限 Move Limit (0.01<=DELXV<=0.5)为 0.3，最小结构尺寸 Minimum Member Size(TDMIN>0.1)为 3.0，勾选取消 Checkboard-Free Method 选项。其余控制参数取程序的默认值，点击 OK 按钮，回到拓扑优化定义界面。



技巧提示

初始密度通常可设置与体积比约束相同的值；最小下限值用于避免有限元分析的奇异性；对于拓扑优化而言，通常需要迭代 10～50 次，从而得到较为清晰的拓扑优化结果；惩罚因子用于对中间密度值进行惩罚，从而得到非零即一的理想拓扑优化结果；运动极限用于保证优化迭代的稳定性，对于静力拓扑优化问题，可采用较大的运动极限如 0.3，而针对某些动态拓扑优化问题而言，可采用较小的运动极限值如 0.1；最小结构尺寸同样具有消除优化结果棋盘格现象的功能，其值可选取为单元平均尺寸的 1.0～3.0 倍。

（7）如图 18-3 所示，点击 Design Domain…选项按钮，打开如图 18-6 所示的 Design Domain 页面。

（8）如图 18-6 所示，点击图中 Valid Preoprties 列表中的属性，将其指定到 Design Domain: Selected Propeerties 列表中，表示将其定义的单元设置为设计区域。可以激活页面中的 Hightlight Elements 选项，在图形窗口中相应的设计区域的单元以高亮形式显示出来，便于确认，点击 OK 按钮退出页面。

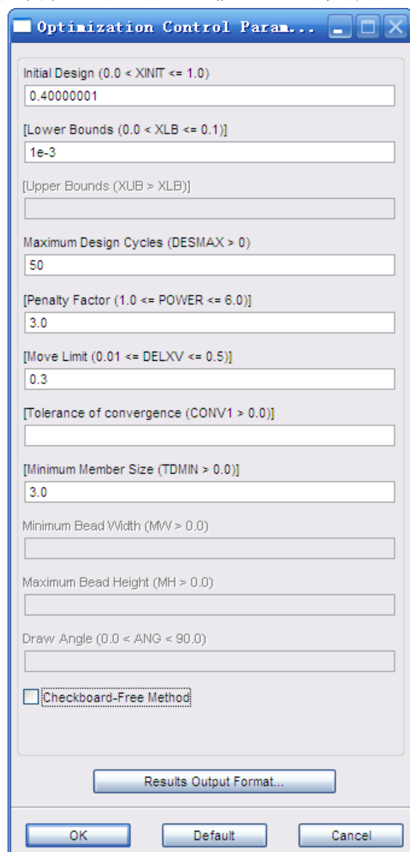


图 18-5 Optimization Control Param…页面

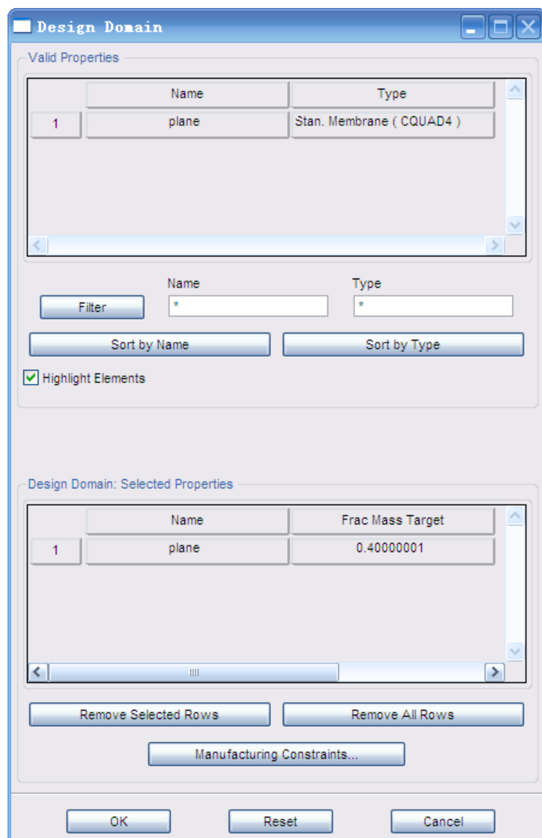


图 18-6 Design Domain 页面

（9）如图 18-3 所示，点击 Sbucase Selcet…选项，打开如图 18-7 所示的 Subcase Select 页面。在 Subcases Abaliable 列表中，选择 Default 按钮，点击 OK 按钮，回到任务提交窗口。

（10）如图 18-3 所示，点击 Apply 按钮，向 MSC.Nastran 提交优化求解。

18.2.3 拓扑优化的后处理

Patran 为拓扑优化的后处理提供了强有力的支持。

（1）在 Patran 菜单中点击 Tools>Design Study>Post-Process…，进入如图 18-8 所示的优化设计后处理程序 Design Study Post-Process 页面。

（2）如图 18-8 所示，依次设置 Action=Read Results，Object=Results Entities，Method=DES，点击 Select Results File…按钮，打开文件选择窗口，选择结果文件 Mbb.des，点击 OK 按钮。

（3）如图 18-8 所示，点击 Apply 按钮，完成结果文件读入。

（4）在拓扑优化结果后处理中，可以首先查看优化后的材料分布。点击 Patran 界面的 Resluts 按钮，进入如图 18-9 所示的 Results 页面。

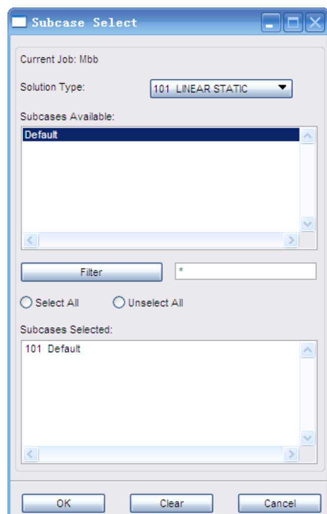


图 18-7 Subcase Select 页面

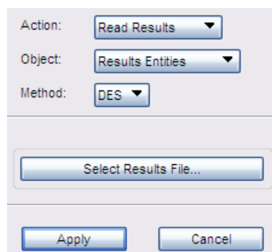


图 18-8 Design Study Post-Process 页面

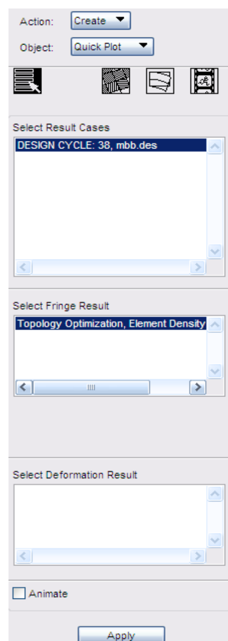


图 18-9 Results 页面

（5）如图 18-9 所示，依次设置 Action=Create，Object=Quick Plot。在 Select Result Case 列表中选择 DESIGN CYCLE: 38, mbb.des。在 Select Fringe Result 列表中选择 Topology Optimization, Element Density Distribution，点击 Apply 按钮。如图 18-10 所示，在图形窗口显示出经过 38 次循环迭代的材料分布结果。

（6）回到图 18-8 所示的优化设计后处理程序页面，重新依次设置 Action=Display Results，Object=Results Entiteis，在 Select Resut Case 列表中选择 DESIGN CYCLE: 38, mbb.des，在 Threshold（阈值）中输入数值 0.8，点击 Apply 按钮得到如图 18-11 所示的拓扑优化结果。

（7）在 Patran 中，还具有平滑拓扑优化结果中锯齿边界的功能。通过该功能，可以得到更加理想的拓扑优化结果。如图 18-12 所示，依次设置 Action=FEM Smooth，Object=Results Entiteis，Method=2D。在 Select Resut Case 列表中选择 DESIGN CYCLE: 38, mbb.des，在 Threshold（阈值）中，输入 0.8。设置 Remesh Eitype=Quad4，在 Select FEM to Smooth 文本框中选择所有的结构单元 Elm 1:1200，在 Group Name 文本框中输入

HIGH_DENS_GRP_08。激活 Backup Database 按钮，将现有的 mbb.db 做一个备份文件 mbb.bak.db，给出保存文件的具体路径。点击 Apply 按钮，执行平滑功能，得到如图 18-13 所示的平滑结果。

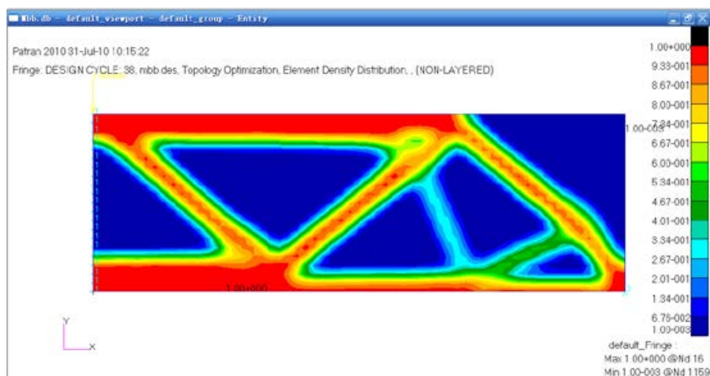


图 18-10　MBB 梁密度分布结果

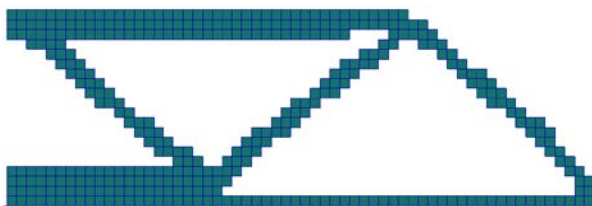
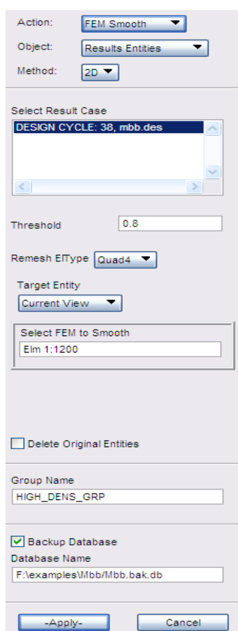


图 18-11　MBB 拓扑优化结果

（8）打开 mbb.f06 结果文件，可以搜索 SUMMARY OF DESIGN CYCLE HISTORY 信息，得到目标函数、约束函数等的优化迭代历程信息，根据提供的信息，可以如图 18-14 所示的目标函数优化迭代历程。



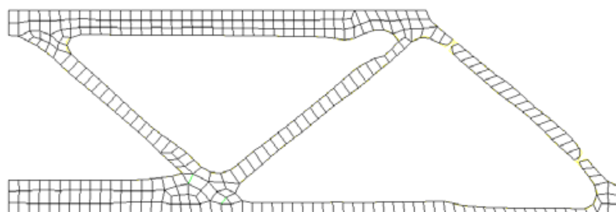


图 18-12　Design Study Post-Process 页面

图 18-13　平滑后的 MBB 拓扑优化模型

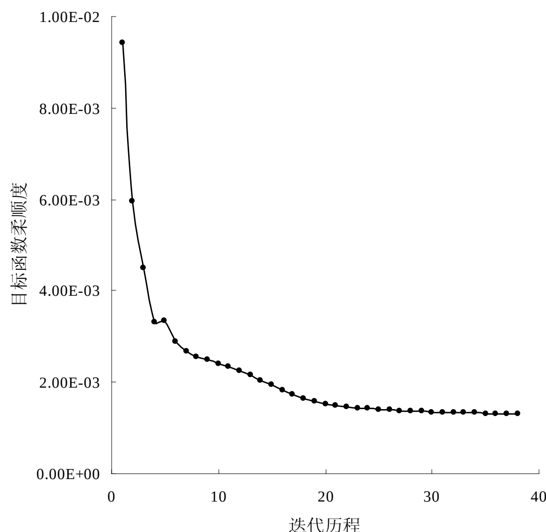


图 18-14　目标函数优化迭代历程

18.3 含制造约束的短悬臂梁拓扑优化实例

在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\scb.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\scb.bdf。

18.3.1 创建分析模型

首先创建拓扑优化所需的有限元模型，具体过程这里不再详述，具体过程如下。

创建一个 48×30×4 的短悬臂梁，材料弹性模量为 2.1e5，泊松比为 0.3，使用参数 Global Edge Length=1.0，对其进行自动网格划分，生成个 5760 实体单元。悬臂梁左端面全约束，右下角点受到垂直向下单位载荷作用，最后得到的有限元模型如图 18-15 所示。

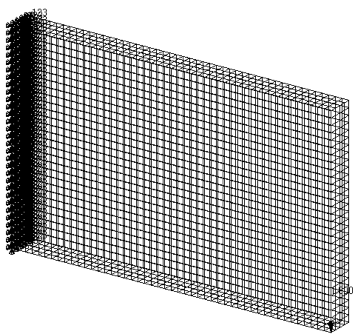


图 18-15　短悬臂梁有限元模型

18.3.2 创建拓扑优化模型

（1）点击菜单栏中 Analysis 下 Optimize 按钮，打开如图 18-16 所示的 Analysis 页面。

（2）如图 18-16 所示，在页面中部 Job Name 文本框中输入 scb。

（3）如图 18-16 所示，点击 Objectives & Constraints…按钮，打开如图 18-17 所示的 Objective and Constraints 页面。

（4）如图 18-17 所示，设置 Type=Topology。在目标函数中(Objective Function)选择最小柔顺度(Minimize Compliance)，即以结构刚度最大化为目标。在约束函数中设置 Constraint Target=Mass Fraction。在 Mass Target Constraint 文本框中输入数值 0.5，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 18-16 所示，点击 Optimization Control…选项，打开如图 18-18 所示的 Optimization Control Param…页面。

（6）如图 18-18 所示，指定的初始密度参数 Initial Design(0.0<XINIT<=1.0)为 0.5，最小下限值 Lower Bounds(0.0<XLB<=0.1)为 0.001，最大循环次数 Maximum Design Cycles(DESMAX>0)为 50，惩罚因子 Penalty Factor(1.0<-POWER<=6.0)为 3，运动极限 Move Limit(0.01<=DELXV<=0.5) 为 0.3，最小结构尺寸 Minimum Member Size(TDMIN>0.1)为 2.5。勾选取消 Checkboard-Free Method 选项。其余控制参数取程序的默认值，点击 OK 按钮，返回到拓扑优化定义界面。

（7）如图 18-16 所示，点击 Design Domain…选项，打开如图 18-19 所示的 Design Domain 页面。

（8）如图 18-19 所示，点击图中 Valid Preoprties 列表中的属性，将其指定到 Design Domain: Selected Propeerties 列表中，表示将其定义的单元设置为设计区域。可以激活页面中的 Hightlight Elements 选项，在图形窗口中相应的设计区域的单元以高亮形式显示出来，便于确认，点击 OK 按钮退出页面。

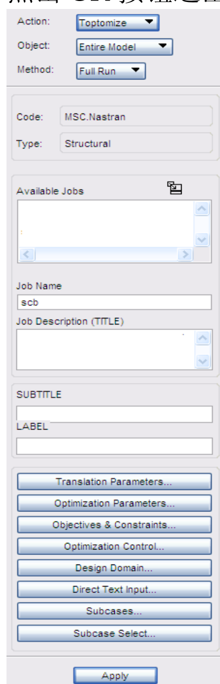


图 18-16 Analysis 页面

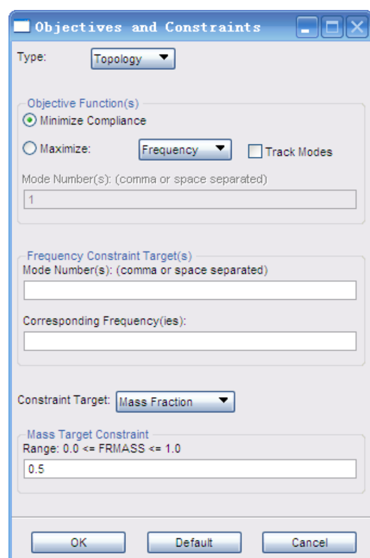
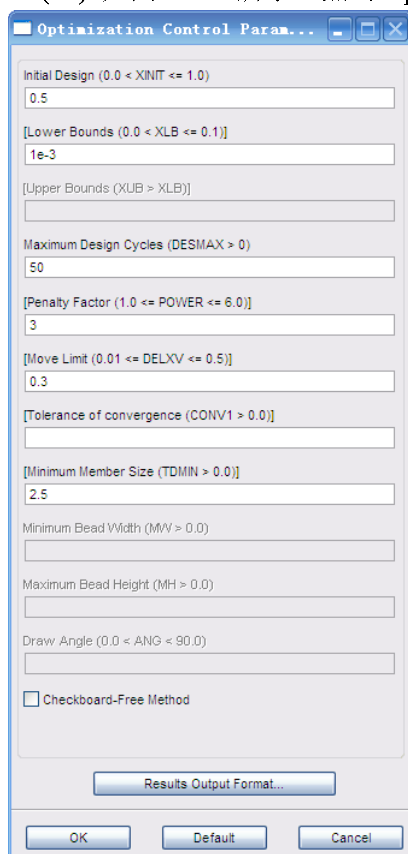


图 18-17 Objective and Constraints 页面

(9) 如图 18-16 所示，点击 Sbucase Selcet…选项，在 Subcases Abaliable 列表中，选择 Default 按钮，点击 OK 按钮，回到任务提交窗口。

(10) 如图 18-16 所示，点击 Apply 按钮，向 MSC.Nastran 提交优化求解。



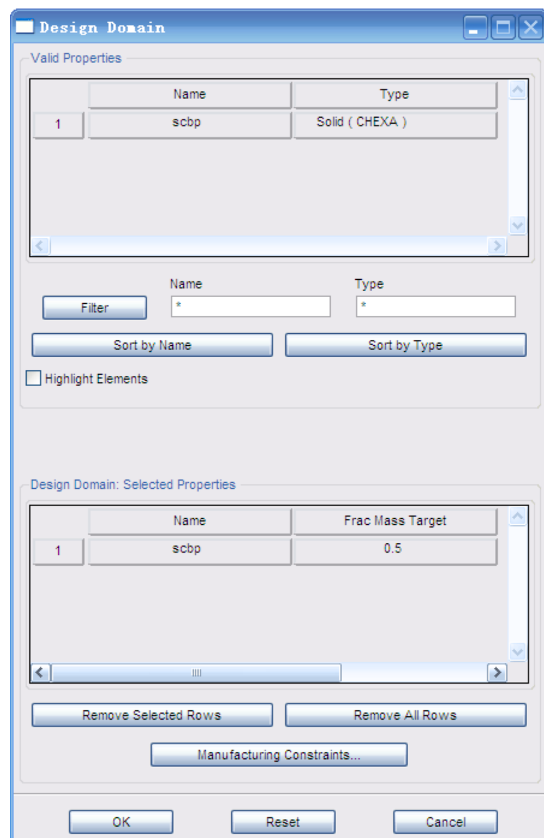


图 18-18 Optimization Control Param…页面　　　　图 18-19 Design Domain 页面

18.3.3 拓扑优化的后处理

（1）在 Patran 菜单中点击 Tools>Design Study>Post-Process…，打开如图 18-20 所示的 Design Study Post-Process 页面。

（2）如图 18-20 所示，依次设置 Action=Read Results，Object=Results Entities，Method=DES，点击 Select Results File…按钮，打开文件选择窗口，选择结果文件 scb.des，点击 OK 按钮，点击 Apply 按钮，完成结果文件读入。

（3）如图 18-21 所示，重新依次设置 Action=Display Results, Object=Results Entiteis，在 Select Resut Case 列表中选择 DESIGN CYCLE: 17, scb.des，在 Threshold（阈值）中，输入 0.5，点击 Apply 按钮，得到如图 18-22 所示，阈值为 0.5 的拓扑优化结果。

18.3.4 定义拉伸方向的制造约束

（1）如图 18-23 所示，在 Design Domain…下，重新打开 Manufacturing Constraints

页面，勾选 Extrusion Constraints 选项，并设置 Extrusion Direction 为 Z 方向，点击 OK 按钮完成设置。

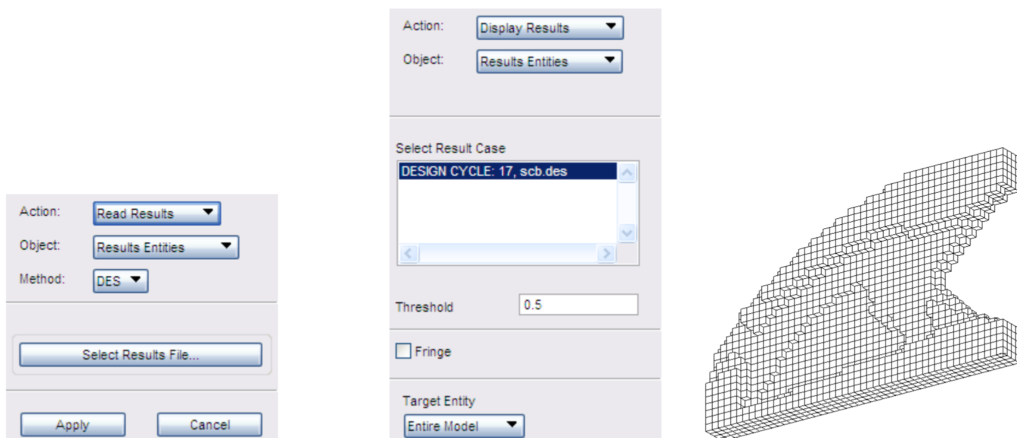


图 18-20 Design Study Post-Process 图 18-21 Design Study Post-Process 图 18-22 短悬臂梁拓扑优化结果



技巧提示

这里 Z 向作为拉伸约束方向，即材料分布在 Z 向具有一致性。

（2）在 Analysis 页面下，重新在 Job Name 文本框中输入 scb_extru_z。

（3）点击 Analysis 页面下方的 Apply 按钮，后处理方法同上述流程一致，最后得到的拓扑优化结果如图 18-24 所示。由图 18-24 可知，采取了拉伸方向的约束条件，得到的材料密度分布具有 Z 向一致性。

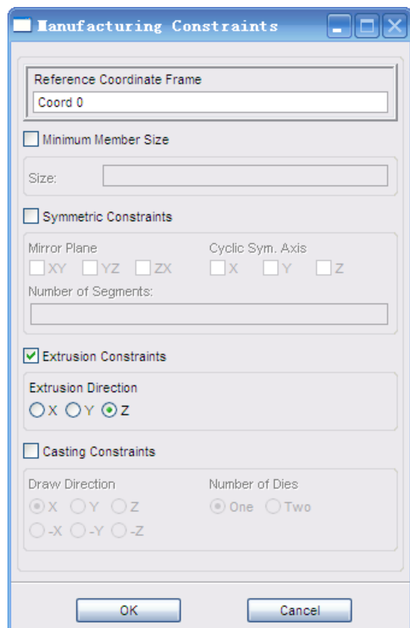


图 18-23 Manufacturing Constraints 页面

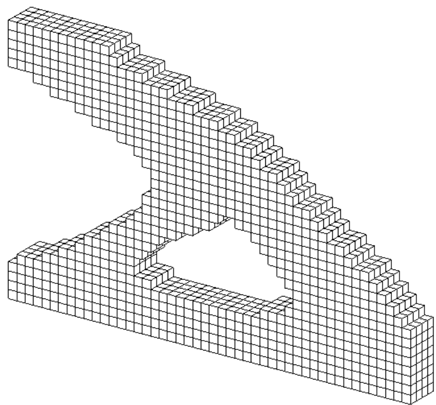


图 18-24 拓扑优化结果

18.3.5 定义平面对称的制造约束

为了定义平面对称的制造约束，需首先定义对称面处的局部坐标系。

（1）点击菜单栏下的 Geometry 按钮，打开如图 18-25 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Coord，Method=3Point。

（2）如图 18-25 所示，在 Corrd ID List 文本框中输入数值 2，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Origin 文本框中输入[48 15 2]，在 Point on Axis 3 文本框中输入[48 15 3]，在 Point on Plane1-3 文本框中输入[49 15 2]。点击 Apply 按钮生成编号为 2 的局部坐标系。

（3）如图 18-26 所示，重新打开 Manufacturing Constraints 页面中，在原有 Z 向拉伸约束基础上，勾选对称条件 Symmetric Constraints 选项，并设置 Mirror Plane=ZX，点击 OK 按钮完成设置。

（4）在 Analysis 页面下，重新在 Job Name 文本框中输入 scb_extru_z_sym。

（5）点击 Analysis 页面下方的 Apply 按钮，后处理方法同上述流程一致，最后得到的拓扑优化结果如图 18-27 所示。由图 18-27 可知，采取了平面对称的约束条件，得到的材料密度分布具有 ZX 平面对称性。

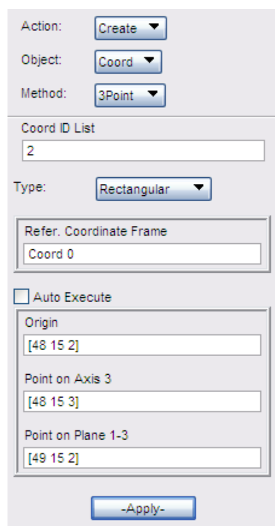


图 18-25 Geometry 页面

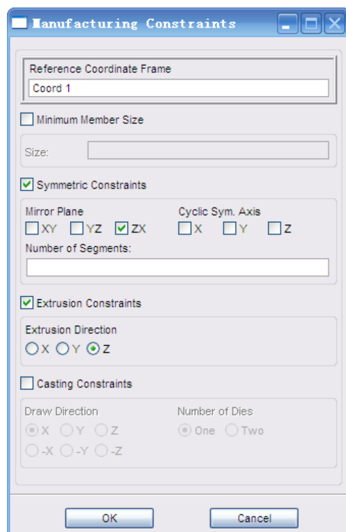


图 18-26 Manufacturing Constraints 页面

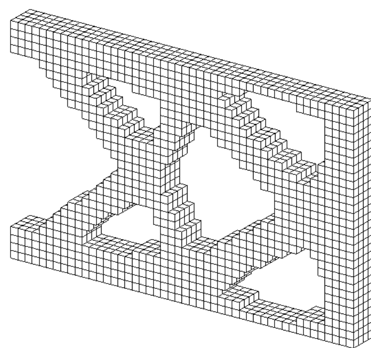


图 18-27 拓扑优化结果

18.4 连杆的拓扑优化实例

某连杆在受压状态下，以连杆杆身作为优化区域，采用拓扑优化的方法，确定连杆的最优拓扑结构。

在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\conrod.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\ conrod_opt.bdf。

18.4.1 创建分析模型

连杆受压的有限元模型采用将分析文件 conrod_analysis.bdf 导入的方式建立，具体过程这里不再赘述，得到如图 18-28 所示的连杆有限元模型。其中中部连杆杆身部位为拓扑优化设计变量区域。该连杆主要受到压缩载荷作用，采用分布力形式进行施加。

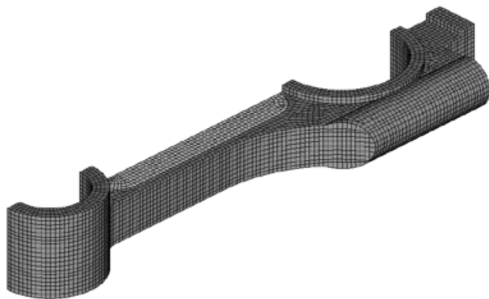


图 18-28 连杆有限元模型

18.4.2 创建拓扑优化模型

（1）点击菜单栏中的 Analysis 下的 Optimize 按钮，打开如图 18-29 所示的 Analysis 页面。

（2）如图 18-29 所示，在页面中部 Job Name 文本框中输入 conrod_opt。

（3）如图 18-29 所示，点击 Objectives & Constraints…按钮，打开如图 18-30 所示的 Objective and Constraints 页面。

（4）如图 18-30 所示，设置 Type=Topology。在目标函数中(Objective Function)选择最小柔顺度(Minimize Compliance)，即以结构刚度最大化为目标。在约束函数中设置 Constraint Target=Mass Fraction。在 Mass Target Constraint 文本框中输入数值 0.4，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 18-29 所示，点击 Optimization Control…选项，打开如图 18-31 所示的 Optimization Control Param…页面。

（6）如图 18-31 所示，指定的初始密度参数 Initial Design(0.0<XINIT<=1.0)为 0.4，最小下限值 Lower Bounds(0.0<XLB<=0.1)为 0.001，最大循环次数 Maximum Design Cycles(DESMAX>0)为 50，惩罚因子 Penalty Factor(1.0<-POWER<=6.0)为 3.0，运动极限 Move Limit(0.01<=DELXV<=0.5) 为 0.2，。其余控制参数取程序的默认值，点击 OK 按钮，返回到拓扑优化定义界面。



技巧提示

对于六面体实体单元，结构有限元分析误差较小，从而在一定程度上自然克服了棋盘格现象。

（7）如图 18-29 所示，点击 Design Domain…选项，打开如图 18-32 所示的 Design Domain 页面。

（8）如图 18-32 所示，点击图中 Valid Preoprties 列表中的属性，将其指定到 Design Domain: Selected Propeerties 列表中，表示将其定义的单元设置为设计区域。可以激活页面

中的 Hightlight Elements 选项，在图形窗口中相应的设计区域的单元以高亮形式显示出来，便于确认，点击 OK 按钮退出页面。

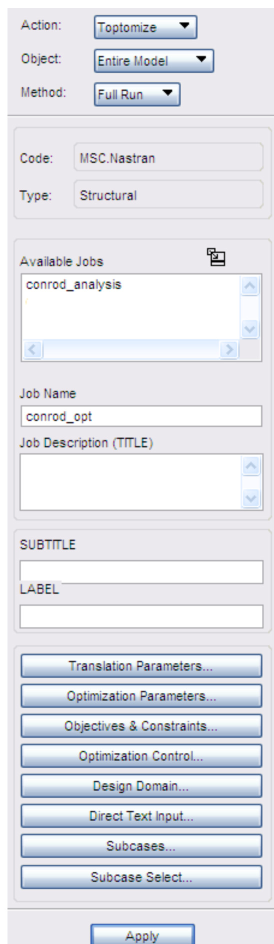


图 18-29　Analysis 页面

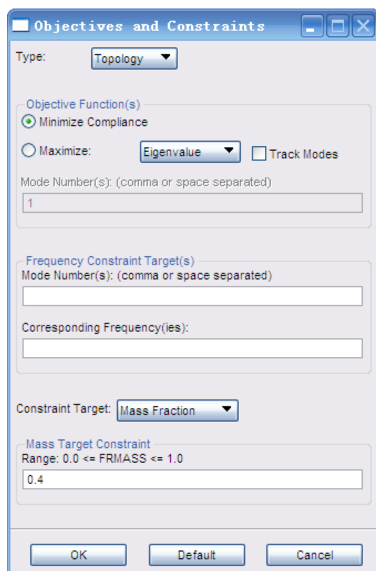


图 18-30　Objective and Constraints 页面

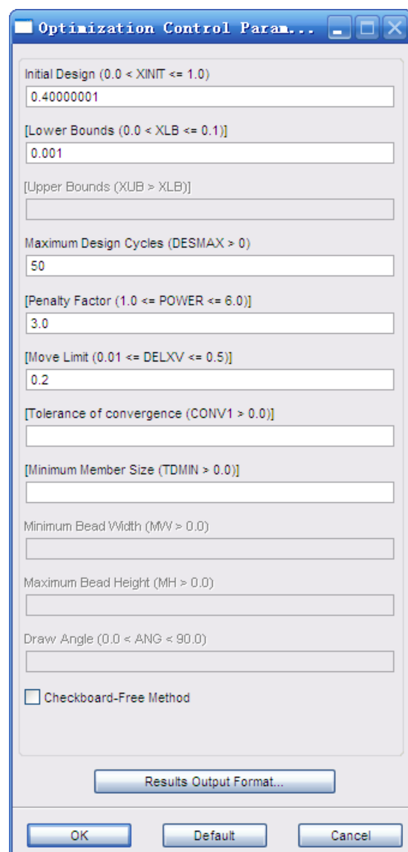


图 18-31　Optimization Control Param…页面

（9）如图 18-29 所示，点击 Sbucase Selcet…选项，在 Subcases Abaliable 列表中，选择 Default 按钮，点击 OK 按钮，回到任务提交窗口。

（10）如图 18-29 所示，点击 Apply 按钮，向 MSC.Nastran 提交优化求解。

（11）如图 18-32 所示，在 Design Domain…下，打开如图 18-33 所示的 Manufacturing Constraints 页面，勾选 Extrusion Constraints 选项，并设置 Extrusion Direction 为 Z 方向，点击 OK 按钮完成设置。

（12）如图 18-29 所示，点击 Sbucase Selcet…按钮，打开如图 18-34 所示的 Subcase Select 页面，在 Subcases Abaliable 列表中，选择_COMRE_CASE:SC1，点击 OK 按钮，回到任务提交窗口。

（13）在 Analysis 页面下，在 Job Name 文本框中输入 conrod_opt。

（14）点击 Analysis 页面下方的 Apply 按钮，后处理方法同上述流程一致，最后得到的拓扑优化结果如图 18-35 所示。

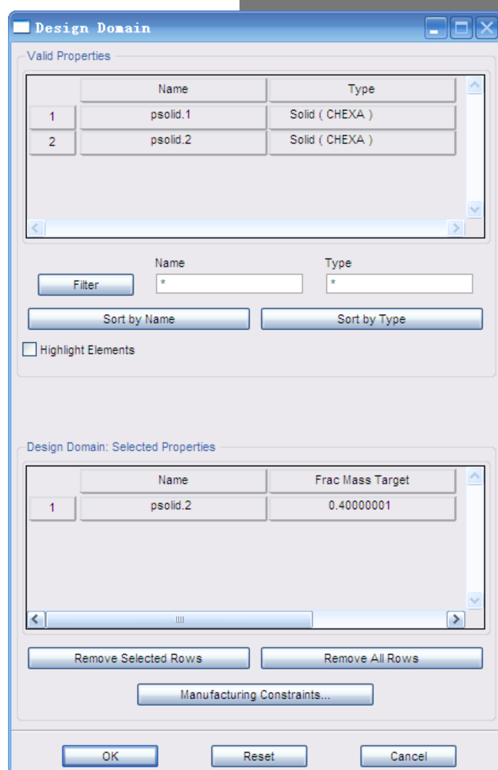


图 18-32 Design Domain 页面

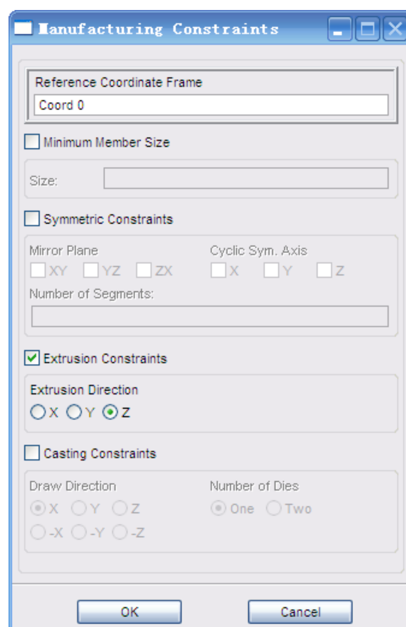


图 18-33 Manufacturing Constraints 页面

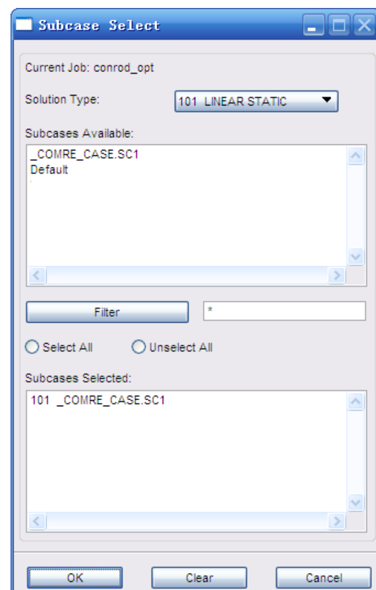


图 18-34 Subcase Select 页面

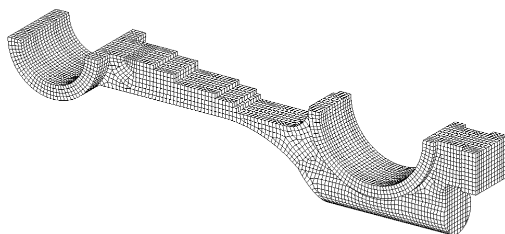


图 18-35 连杆杆身的拓扑优化结果

第 19 章　热传导分析

内容导航



热传导分析是通常用来校验结构零件在热边界条件或热环境下的产品特性，Nastran 可以解决包括传导、对流、辐射、相变、热控系统在内的热传导现象，并提供广泛的自由对流的边界条件。本章以 Patran 的 Skin 界面风格进行分析。

通过本章的学习，读者可以掌握使用 Patran 和 Nastran 求解结构热分析问题的过程与步骤以及如何使用 Patran 定义各种热载荷工况。

重点剖析

* 热传导分析的流程
* 热载荷工况的定义
* 热辐射分析
* 自由对流热分析
* 热应力分析

19.1　热分析基础

19.1.1 热分析简介

热分析用于计算一个系统或部件的温度分布及其他热物理参数，如热量的获取或损失、热梯度、热流密度（热通量）等。

热分析在许多工程应用中扮演重要角色，如内燃机、涡轮机、换热器、管路系统、电子元件等。

1．传热学经典理论回顾

热分析遵循热力学第一定律，即能量守恒定律:对于一个封闭的系统（没有质量的流入或流出）

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

式中，Q 为热量；W 为做功；ΔU 为系统内能；ΔKE 为系统动能；ΔPE 为系统势能。

对于大多数工程传热问题：ΔKE□ ΔPE□ 0；

通常考虑没有做功：$W = 0$，则：$Q = \Delta U$；

对于稳态热分析：$Q = \Delta U = 0$，即流入系统的热量等于流出的热量；

对于瞬态热分析：$q = \frac{dU}{dt}$，即流入或流出的热传递速率 q 等于系统内能的变化。

2．热传递的方式

（1）热传导：可以定义为完全接触的两个物体之间或一个物体的不同部分之间由于温度梯度而引起的内能的交换。热传导遵循傅里叶定律：$q'' = -k\frac{dT}{dx}$，式中 q'' 为热流密度（W/m^2），k 为热导率（W/m-□），“—”表示热量流向温度低的方向。

（2）热对流：指固体的表面与它周围接触的流体之间，由于温差的存在引起的热量的交换。热对流可以分为两类：自然对流和强制对流。热对流用牛顿冷却方程来描述：$q'' = h(T_S - T_B)$，式中 h 为对流换热系数（或称膜传热系数、给热系数、膜系数等）；T_S 为固体表面的温度；T_B 为周围流体的温度。

（3）热辐射：指物体发射电磁能，并被其他物体吸收转变为热的热量交换过程。物体温度越高，单位时间辐射的热量越多。热传导和热对流都需要有传热介质，而热辐射无须任何介质。实质上，在真空中的热辐射效率最高。

在工程中通常考虑两个或两个以上物体之间的辐射，系统中每个物体同时辐射并吸收热量。它们之间的净热量传递可以用斯蒂芬—波耳兹曼方程来计算

$$q = \varepsilon\sigma A_1 F_{12}(T_1^4 - T_2^4)$$

式中，q 为热流率；ε 为辐射率（黑度）；σ 为斯蒂芬－波耳兹曼常量，约为 5.67×10^{-8}W/m^2.K^4；A_1为辐射面 1 的面积；F_{12} 为由辐射面 1 到辐射面 2 的形状系数；T_1 为辐射面 1 的绝对温度；T_2 为辐射面 2 的绝对温度。

由上式可以看出，包含热辐射的热分析是高度非线性的。

19.1.2 热分析的类型

◆ 稳态传热：系统的温度场不随时间变化。

◆ 瞬态传热：系统的温度场随时间明显变化。

◆ 耦合分析：指在有限元分析的过程中考虑了两种或者多种工程学科（物理场）。的交叉作用和相互影响（耦合）。例如压电分析考虑了结构和电场的相互作用：它主要解决由于所施加的位移载荷引起的电压分布问题，反之亦然。其他的耦合场分析还有热-应力耦合分析，热-电耦合分析，流体-结构耦合分析，磁-热耦合分析和磁-结构耦合分析等。

19.2　空间热辐射分析实例

如图 19-1 所示，三块板的尺寸大小相同，宽 2m 高 3m，厚度为 0.001m，Ⅰ板和Ⅱ

板之间的距离为 2m，II 板和III板之间的距离为 3m，板所使用的材料为铝合金，其热传导系数为 204 W/m·K ,发射率为 1.0，板 II 在其中间 1m×0.5m 处的热流为 2000 W/m^2,并向两边板辐射热量，求三块板的稳态热分布。

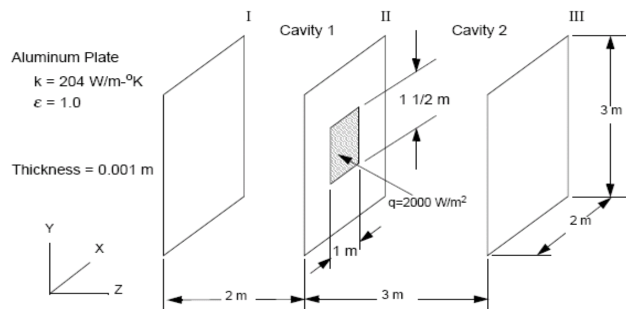


图 19-1　分析模型

19.2.1 创建一个数据文件

单击按钮，或选择菜单 File>New 命令，输入文件名 radiation，单击 OK 创建数据文件 radiation.db。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Thermal。

19.2.2 创建几何模型

（1）单击 ***Geometry*** 应用工具按钮，开始创建几何模型，如图 19-2 所示，单击 Surfaces 下的图标 XYZ（Action>Create, Object>Surface, Method>XYZ），在 Vector Coordinates List 选项中，输入<2 3 0>，单击 Apply，创建平面。

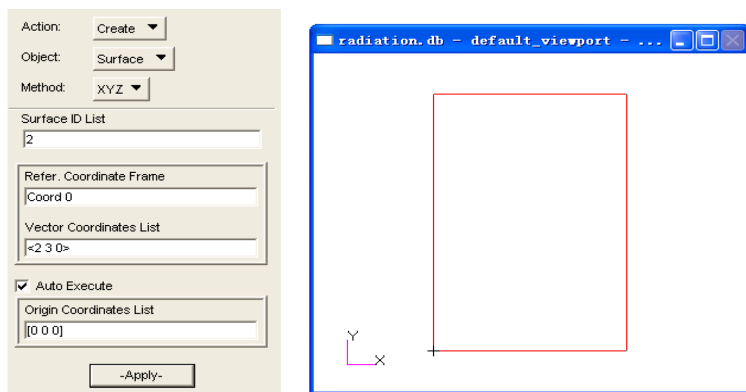


图 19-2　创建平面

（2）通过转化创建曲面。单击 Transformer 下的图标（Action>Transform, Object>Surface, Method>Translate），在 Translation Vector 输入框中输入<0 0 2>，在 Surface List 输

入框中选择 Surface 1，单击 Apply 按钮；接着在 Translation Vector 输入框中输入<0 0 3>，在 Surface List 输入框中选择 Surface 2，单击 Apply 按钮。点击 Home 应用工具按钮，单击图标，改变视图显示，如图 19-3 所示。

19.2.3 划分有限元网格

单击 ***Meshing*** 应用工具按钮，开始创建有限元模型，单击 Mesh Seeds 下的图标（Action>Create, Object>Mesh Seed, Type>Uniform），在 Number of Elements 选项中，Number 的值设置为 4, Curve List 输入框中选择 Surface 1.1 1.2 2.1 2.2 3.1 3.2，单击 Apply，创建单元种子；接下来划分有限元网格，单击 Meshers 下的图标（Action>Create, Object>Mesh, Type>Surface），Elem Shape 选择 Quad，Mesher 选择 Isomesh，Topology 选择 Quad8，在 Surface List 中，选择 Surface 1:3，单击 Apply，完成创建，如图 19-4 所示。

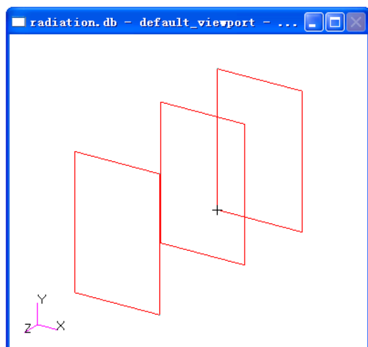


图 19-3　创建几何平面

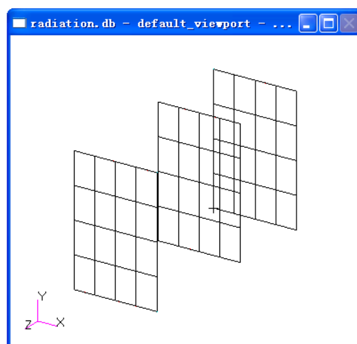


图 19-4　有限元网格

19.2.4 设置边界条件及施加载荷

（1）加载辐射边界条件。单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮，单击 Elements Uniform 下的图标（Action>Create, Object>Radiation, Type>Element Uniform, Option>Enclosures），在 New Set Name 选项中输入 encl_1，目标单元类型 Target Element Type 选择 2D，单击 Input Data…按钮，Surface Option 选择 Top，Enclosure ID 设置为 1，Top Surf Emissivity 设置为 1.0, 如图 19-5 所示，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，在 Select Surfaces or Edge 输入框中，选择 Surface1，依次单击 Add、OK、Apply 按钮；接下来在 New Set Name 选项中输入 encl_1a，目标单元类型 Target Element Type 选择 2D，单击 Input Data…按钮，Surface Option 选择 Bottom，Enclosure ID 设置为 1，Bottom Surf Emissivity 设置为 1.0，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，在 Select Surfaces or Edge 输入框中，选择 Surface2，依次单击 Add、OK、Apply 按钮；接下来在 New Set Name 选项中输入 encl_2，目标单元类型 Target Element Type 选择 2D，单击 Input Data…按钮，Surface Option 选择 Top，Enclosure ID 设置为 2，Top Surf Emissivity 设置为 1.0, 单击 OK 按钮，单击 Select

Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，在 Select Surfaces or Edge 输入框中，选择 Surface2，依次单击 Add、OK、Apply 按钮；最后在 New Set Name 选项中输入 encl_2a，目标单元类型 Target Element Type 选择 2D，单击 Input Data…按钮，Surface Option 选择 Bottom，Enclosure ID 设置为 2，Bottom Surf Emissivity 设置为 1.0，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，在 Select Surfaces or Edge 输入框中，选择 Surface3，依次单击 Add、OK、Apply 按钮；此时模型如图 19-6 所示。

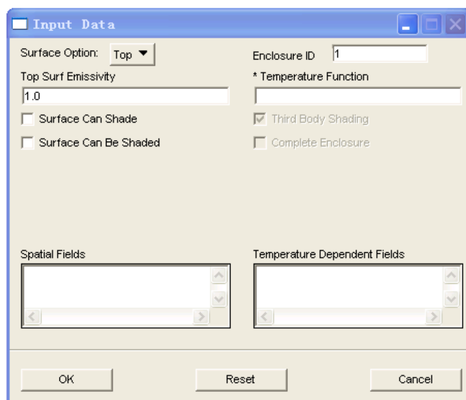


图 19-5　定义辐射边界条件

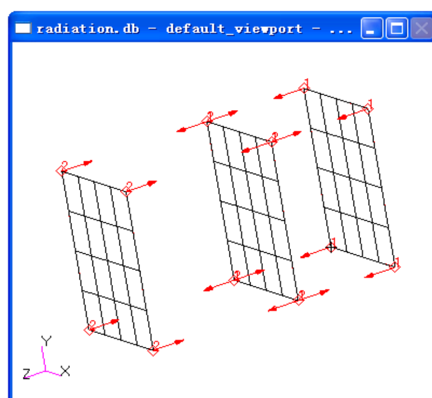


图 19-6　施加辐射边界条件的模型

（2）创建热通量。单击 Elements Uniform 下的图标（Action>Create, Object>Applied Heat, Type>Element Uniform，Option>Normal Fluxes），在 New Set Name 选项中输入 heat flux，目标单元类型 Target Element Type 选择 2D，单击 Input Data…按钮，Surface Option 选择 Top，Top Surf Heat Flux 输入框中输入 2000，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region 按钮，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，在 Select 2D Elements or Edges 输入框中，选择 Elm 22 23 26 27 ，依次单击 Add、OK、Apply 按钮，完成热通量创建，此时模型如图 19-7 所示。

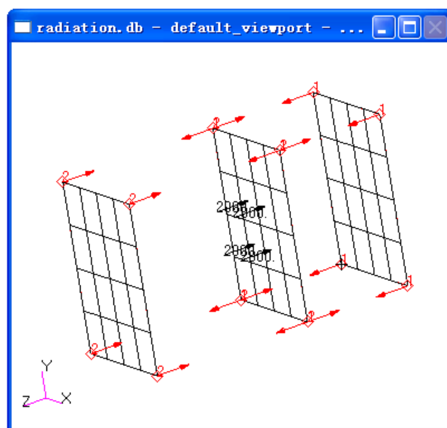


图 19-7　创建边界条件及载荷后的模型

19.2.5 定义材料属性

单击 ***Properties*** 应用工具按钮，单击 Isotropic 图标（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Mannual Input），Material Name: Alum，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，如图 19-8 所示，Constitutive Model 设置为：Solid Properties，在 Thermal Conductivity 中输入 204，单击 OK、Apply 按钮，完成材料的创建。

定义单元属性。单击 ***Properties*** 应用工具按钮，再单击 2D Properties 选项卡，Action>Create，Object>2D，Method>Shell，在 Property Set Name 中输入 Alum，单击 Input Properties 按钮，打开如图 19-9 所示面板，在 Mat Prop Name 中选择 Alum，在 Thickness 选项中输入 0.001，单击 OK；在 Application Region 选项框，选择：Entities，Select Members 选择 Surface 1:3，点击 Add、Apply 按钮，完成定义单元属性。

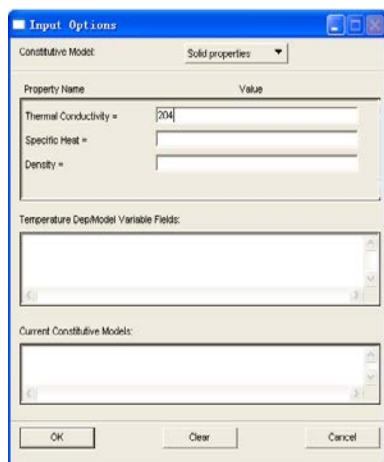


图 19-8　创建材料

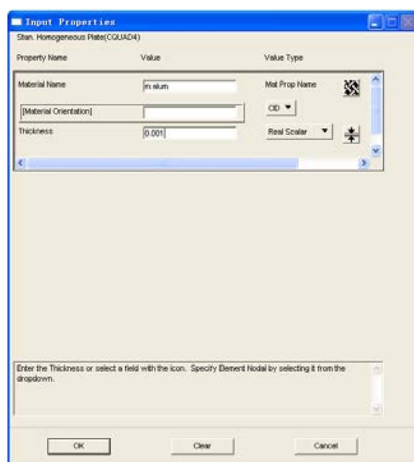


图 19-9　定义单元属性

19.2.6 进行分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，单击 Analyze 下的图标（Action>Analyze，Object>Entire Model，Method>Full Run），打开 Solution Type 按钮，选择求解类型为 STEADY STATE ANALYSIS，单击 Solution Parameter 按钮，在 Default Init Temperature 选项设置为 500，如图 19-10 所示，单击 Radiation Parameters…按钮，Stefan－Boltzmann Constant 设置为：5.6696e-8，如图 19-11 所示，依次单击 OK、OK、Apply 按钮，弹出 Natran 计算对话框，开始计算。

19.2.7 查看分析结果

（1）在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，单击 Access Results 下的图标

（Action>Access Results，Object>Attach XDB，Method>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 Radiation.xdb，单击 OK、Apply。

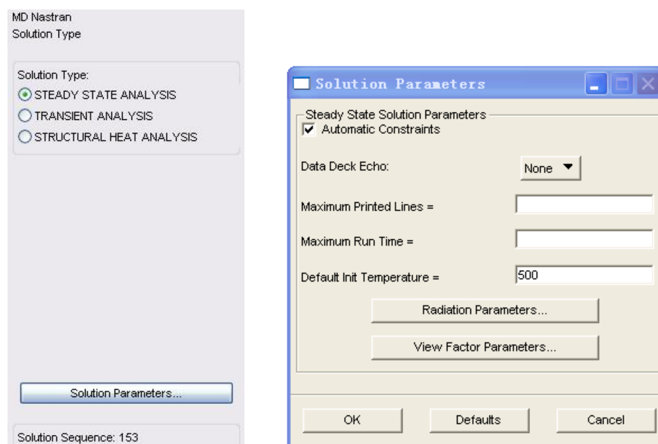


图 19-10 设置求解参数

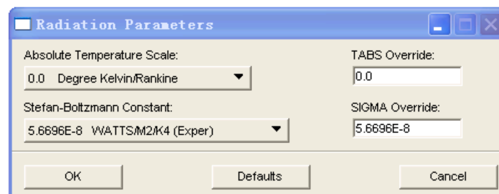


图 19-11 设置求解参数

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮，单击 Quick Plot 图标（Action>Create，Object >Quick plot），在 Select Fringe Result 选项中选择 SC1: Default，A1: Non-linear:100 % of Load，在 Select Fringe Result 中选择 Temperatures，单击 Apply 按钮，生成如图 19-12 所示温度分布云图。

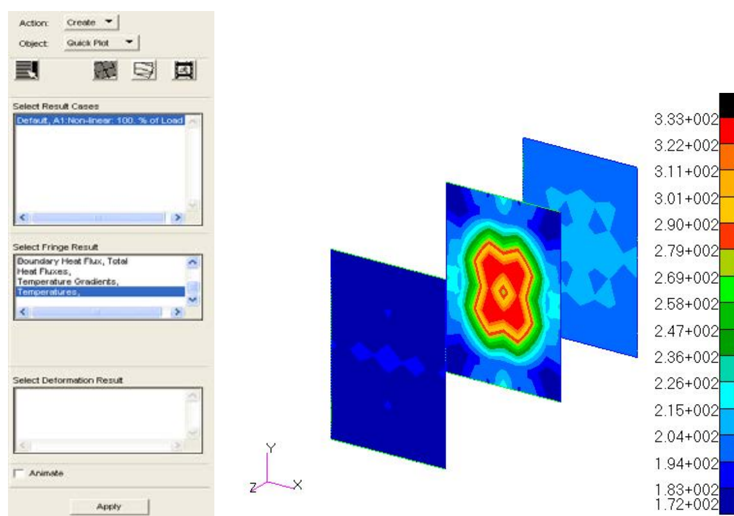


图 19-12 温度分布云图

19.3　自由对流热分析实例

如图 19-13 所示，电路板上安装了三个电子元件，每个电子元件在其上表面产生热通量为q=5.0 W/in^{2}的热量，电路板的热传导系数为 $K_{pcb} = 0.066 \text{W/in}-^{\circ}\text{C}$，电子元件的热传导系数为 $K_{chip} = 2.24 \text{W/in}-^{\circ}\text{C}$，电路板周围的温度为 20.0 $^{\circ}$C，对流系数 $h = 0.02 \text{W/in}^2 {}^{\circ}\text{C}$。该电路板的自由对流热分析过程如下。

19.3.1 创建一个数据文件

直接单击按钮，或选择菜单 File>New 命令，输入文件名 Board，单击 OK 创建数据文件 Board.db。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Thermal，Preference Mapping 选择 Mapping Function。

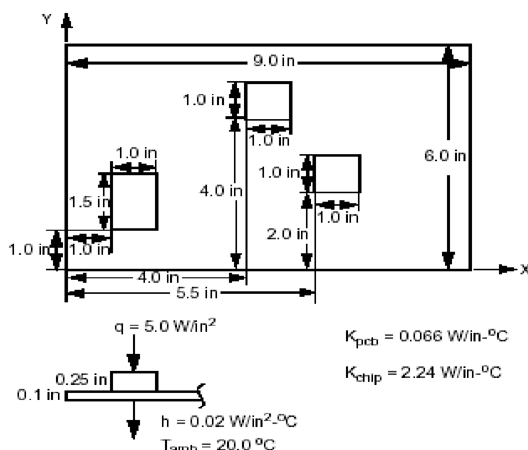


图 19-13　电路板芯片模型

19.3.2 创建几何模型

（1）单击 Geometry 创建曲面。单击 Surfaces 下的图标 XYZ（Action>Create, Object>Surface, Method>XYZ），在 Vector Coordinates List 选项中，输入<9 6 0>，在 Origin Coordinates List 中输入[0 0 0]，如图 19-14 所示，单击 Apply 按钮，创建平面。

（2）创建芯片 1 曲面。单击 Surfaces 下的图标 XYZ（Action>Create, Object>Surface, Method>XYZ），在 Vector Coordinates List 选项中，输入<1 1.5 0>，在 Origin Coordinates List 中输入[1 1 0]，单击 Apply 按钮，完成芯片 1 的创建。

（3）创建芯片 2 曲面。单击 Surfaces 下的图标 XYZ（Action>Create, Object>Surface, Method>XYZ），在 Vector Coordinates List 选项中，输入<1 1 0>，在 Origin Coordinates List 中输入[4 4 0], 单击 Apply 按钮，完成芯片 2 的创建。

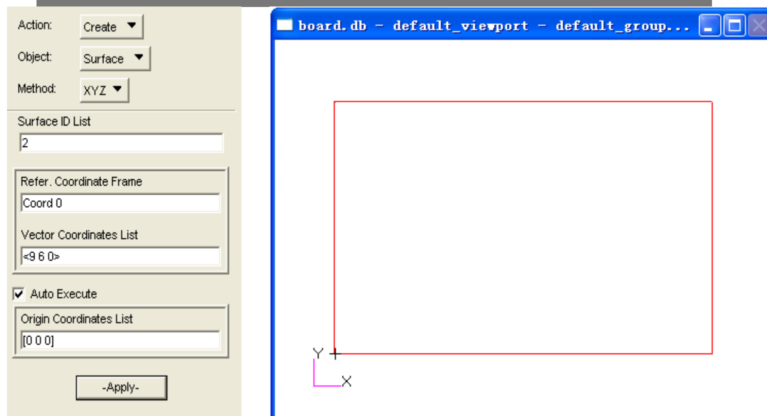


图 19-14　创建平面

（4）创建芯片 3 曲面。单击 Surfaces 下的图标 XYZ（Action>Create, Object>Surface, Method>XYZ），在 Vector Coordinates List 选项中，输入<1 1 0>，在 Origin Coordinates List 中输入[5.5 2 0]，单击 Apply 按钮，完成芯片 3 的创建。此时模型如图 19-15 所示。

（5）创建电路板实体。单击 Solids 下的图标 Extrude（Action>Create, Object>Solid, Method>Extrude），Solid Type 选择 Isomeshable，在 Translation Vector 中输入<0 0 -0.1>，在 Surface List 中选择 Surface 1，单击 Apply 按钮。

（6）创建芯片实体。单击 Solids 下的图标 Extrude（Action>Create, Object>Solid, Method>Extrude），在 Translation Vector 中输入<0 0 0.25>，在 Surface List 中选择 Surface 2:4，单击 Apply 按钮。单击 Home，单击图标，改变模型的显示，如图 19-16 所示。

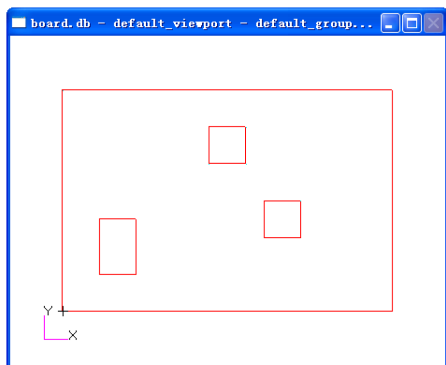


图 19-15　几何模型

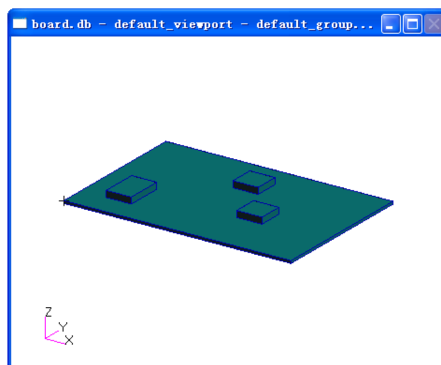


图 19-16　三维实体模型

19.3.3 划分有限元网格

（1）单击 Meshing 划分有限元模型。单击 Meshers 下的图标（Action>Create, Object>Mesh, Type>Solid），Elem Shape 选择 Hex，Mesher 选择 Isomesh，Topology 选择 Hex 8，在 Global Edge Length 中设置单元尺寸 Value 设为 0.25 在 Solid List 中，选择 Solid 1:4，单击 Apply 按钮完成创建。单击 Home，Plot/Erase FEM 按钮，完成创建的有限元网格如图 19-17 所示。

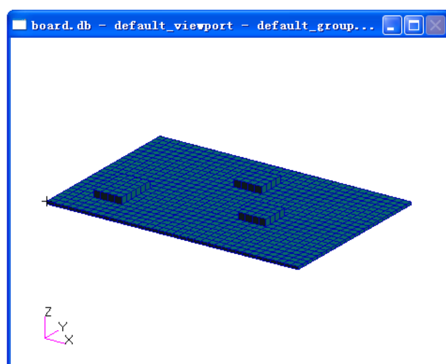


图 19-17　有限元网格模型

（2）消除重复节点。单击 FEM Actions 下的图标（Action>Equivalence，Object>All，Method>Tolerance Cube），Equivalencing Tolerance 设置为：0.005，单击 Apply 按钮。

19.3.4 定义材料属性

单击 ***Properties*** 下 Isotropic 应用工具按钮（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Mannual Input），Material Name: pcb，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，如图 19-18 所示，在 Thermal Conductivity 输入框中输入 0.066，单击 OK、Apply 按钮；在 Material Name 输入框中输入 Chip，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Thermal Conductivity 输入框中输入 2.24，单击 OK、Apply 按钮，完成材料属性的创建。

定义单元属性。单击 3D Properties 下的图标（Action>Create，Object>3D，Method>Solid），在 Property Set Name 中输入 pcb，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 pcb，单击 OK 按钮，如图 19-19 所示，在 Application Region 选项框，选择 Solid 1，单击 Add、Apply 按钮；在 Property Set Name 中输入 chip，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 chip 按钮，在 Application Region 选项框，选择 Solid 2:4，单击 Add、Apply 按钮，完成单元属性的创建。

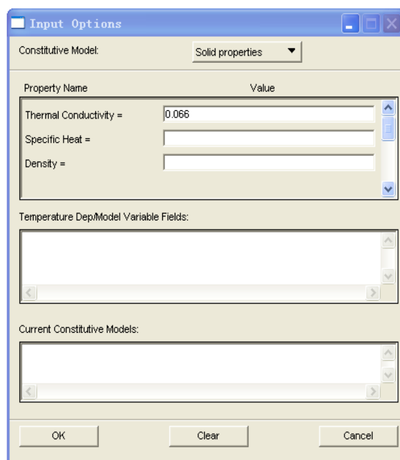


图 19-18　材料属性设置面板

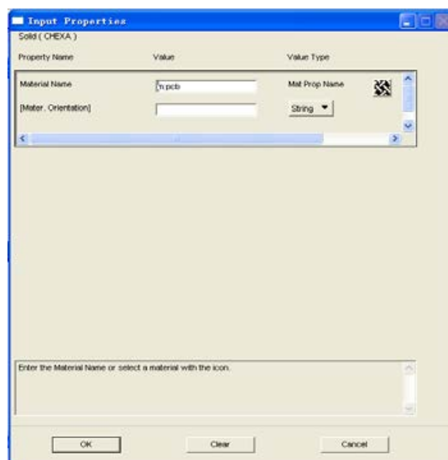


图 19-19　单元属性设置面板

19.3.5 创建边界条件及载荷

（1）在芯片上施加热载荷。单击 ***Loads/BCs*** 下 Element Uniform 中的 Applied Heat 应用工具按钮 （Action>Create, Object>Applied Heat, Type>Element Uniform），Option 选择 Normal Fluxes，在 New Set Name 选项中输入 flux，Target Element Type 设置为 3D，单击 Input data 按钮，Heat Flux 设置为 5，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，然后选择三个芯片的上表面，单击 Add、OK、Apply 按钮。

（2）在电路板上施加热对流边界条件。单击 Element Uniform 下的图标 （Action>Create, Object>Convection, Type> Element Uniform），Option 选择 To Ambient，在 New Set Name 选项中输入 conv，单击 Input data 按钮打开如图 19-20 所示面板，Convection Coefficient 设置为 0.02，Ambient Temperature 设置为 20，Nodal Area 设为 1.0，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region…按钮，Geometry Filter 中选择 Geometry，在 Select Solid Faces 输入框中，选择电路板底部曲面，单击 Add、OK、Apply 按钮，此时模型如图 19-21 所示。



图 19-20　热对流边界条件设置

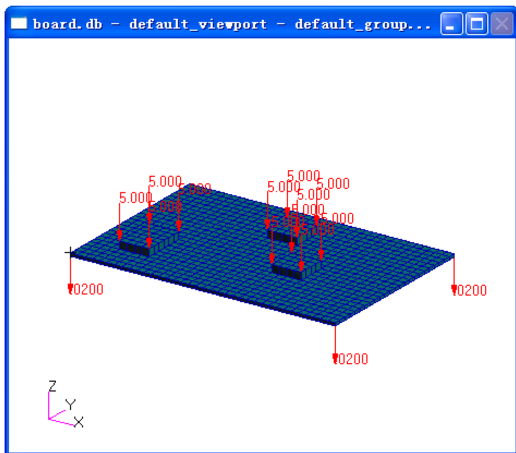


图 19-21　加载后模型

19.3.6 进行热分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，单击 Analyze 下的图标 （Analysis>Entire Model>Full Run），Job Name 为 board，单击 Solution Type 按钮，选择求解类型为 STEADY STATE ANALYSIS，单击 OK、Apply 按钮，系统弹出 Nastran 计算对话框，开始计算。

19.3.7 查看分析结果

（1）在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，单击 Access Results 下的图标 （Action>

Access Results，Object>Attach XDB，Method>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 board.xdb，单击 OK、Apply 按钮。

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮，单击 Quick Plot 图标 （Action>Create，Object >Quick plot），在 Select Result Cases 中选择 Default, A1:Non-linear: 100% of Load，在 Select Fringe Result 选项中选 Temperatures，单击 Apply 按钮，操作过程及温度分布云图如图 19-22 所示。

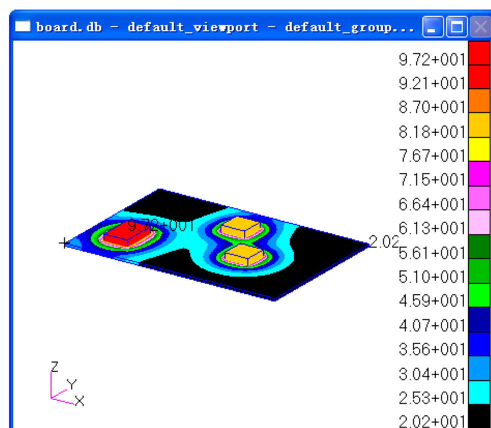


图 19-22　温度云图

19.4　双金属片热应力分析实例

模型描述：如图 19-23 所示，双金属板的长度和宽度都为 1in，Solder 材料板的厚度为 0.05 in, Ge 材料板的厚度为 0.025in，上部面的温度边界条件是-30.0℃，下部面的温度边界条件是 70.0°，试分析板的温度分布。分析问题求解过程如下。

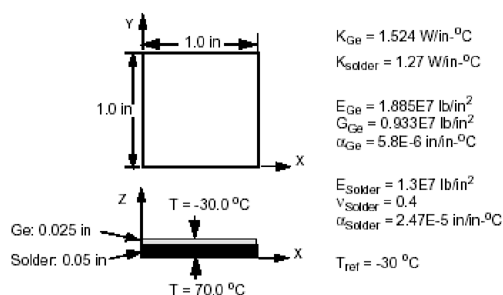


图 19-23　双金属板模型

19.4.1 创建一个数据文件

直接单击按钮，或选择菜单 File>New 命令，输入文件名 Metal_Plate，单击 OK 创建数据文件 Metal_Plate.db。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Thermal，Preference Mapping 选择 Legacy Mapping。

19.4.2 创建几何模型

（1）点击 Geometry 创建平面。单击 Surfaces 下的图标 XYZ（Action>Create, Object>Surface, Method>XYZ），在 Vector Coordinates List 选项中，输入<1 1 0>，如图 19-24 所示，单击 Appy 按钮，创建平面。

（2）创建实体。单击 Solids 下的图标 Extrude（Action>Create, Object>Solid, Method>Extrude）Solid Type 选择 Isomeshable，在 Translation Vector 中输入<0 0 0.05>，在 Surface List 中选择 Surface 1，单击 Apply 按钮，接着在 Translation Vector 中输入<0 0 0.025>，在 Surface List 中选择 Solid1.6 单击 Apply 按钮，单击图标改变模型的视角，如图 19-25 所示。

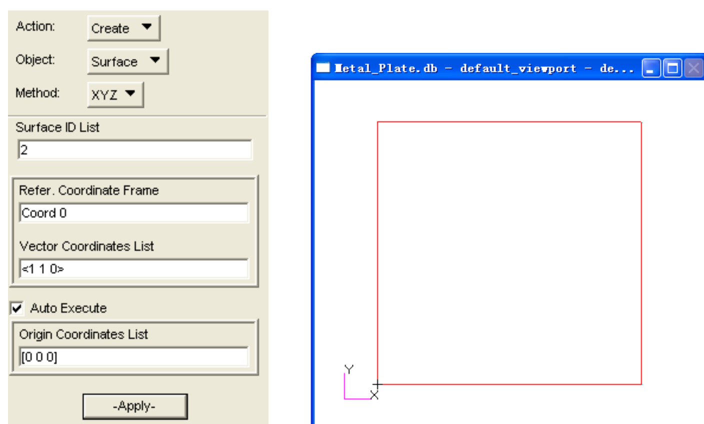


图 19-24 创建平面

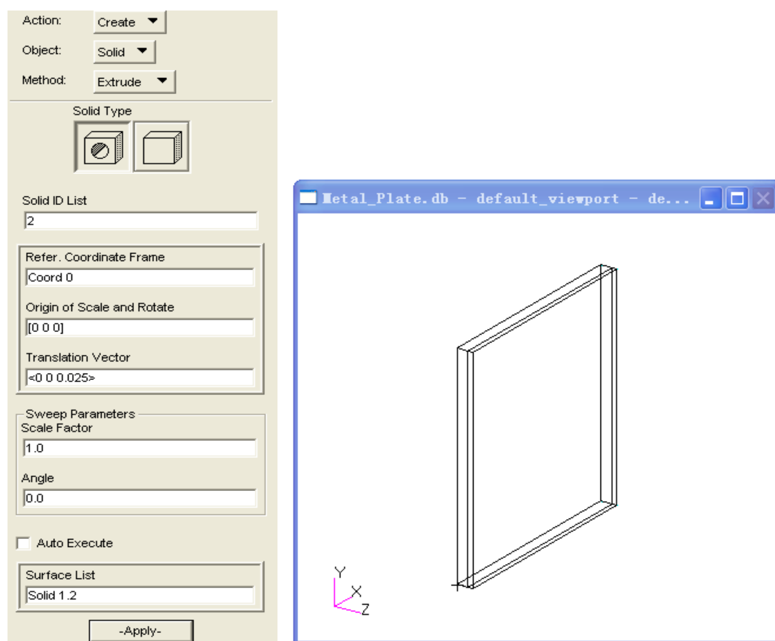


图 19-25 创建几何实体

19.4.3 划分有限元网格

（1）创建网格种子。单击 ***Mehsing*** 应用工具按钮，单击 Mesh Seeds 下的图标（Action>Create, Object>Mesh Seed, Type>Uniform），Number of Element 中设置为 4，选择 Solid 1 在厚度方向上的 4 条棱边，单击 Apply 按钮；接着在 Number of Element 中设置为 2，选择 Solid 2 在厚度方向上的 4 条棱边，单击 Apply 按钮，完成网格种子的创建。

（2）划分有限元模型。单击 Meshers 下的图标（Action>Create, Object>Mesh, Type>Solid），在 Global Edge Length 中设置单元尺寸为 0.1，Elem Shape 选择 Hex，Mesher 选择 Isomesh，Topology 选择 Hex 8，在 Solid List 中，选择 Solid 1 2，单击 Apply 按钮，创建完成的有限元网格模型如图 19-26 所示。

（3）消除重复节点。单击 FEM Actions 下的图标（Action>Equivalence，Object>All，Method>Tolerance Cube），Equivalencing Tolerance 设置为：0.005，单击 Apply 按钮。

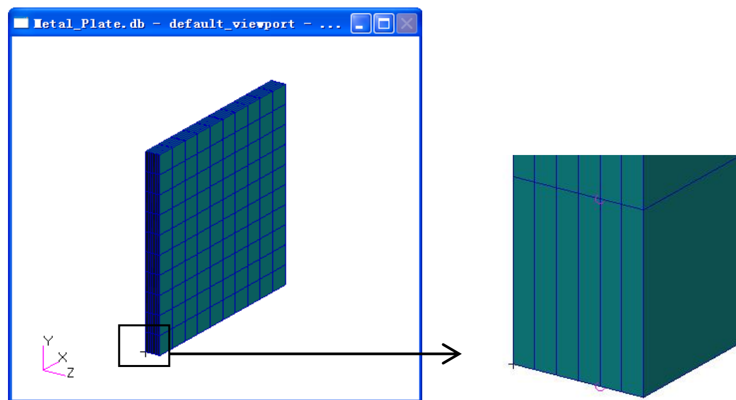


图 19-26　有限元网格

19.4.4 定义热材料属性

单击 ***Properties*** 下 Isotropic 应用工具按钮（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Manual Input），Material Name: Ge，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，如图 19-27 所示，在 Thermal Conductivity 输入框中输入 1.524，单击 OK、Apply 按钮，完成锗材料属性的创建；在 Material Name 输入框中输入 Solder，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Thermal Conductivity 输入框中输入 1.27，单击 OK、Apply 按钮，完成焊接材料的创建。

定义单元属性。单击 ***Properties*** 中 3D Properties 下的图标（Action>Create，Object>3D，Method>Solid），在 Property Set Name 中输入 Ge，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 Ge，单击 OK 按钮，如图 19-28 所示，在 Application Region 选项框，选择 Solid 2，单击 Add、Apply 按钮；在 Property Set Name 中输入 Solder，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 Solder，单击 OK 按钮，在 Application Region 选项框，选择 Solid 1，单击 Add、Apply 按钮，完成单元属性的创建。

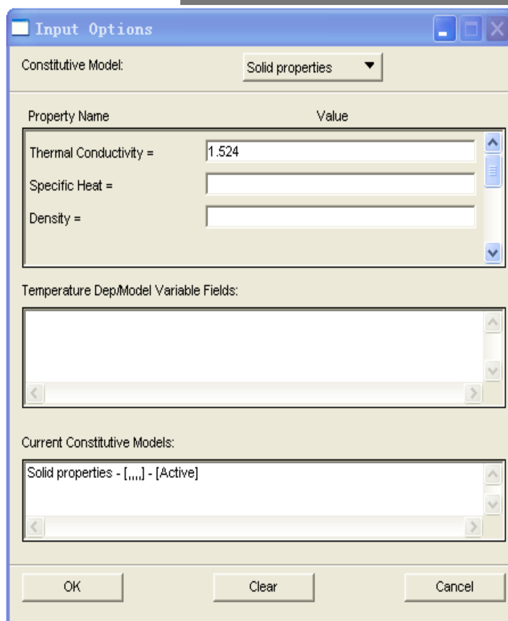


图 19-27　材料属性设置面板

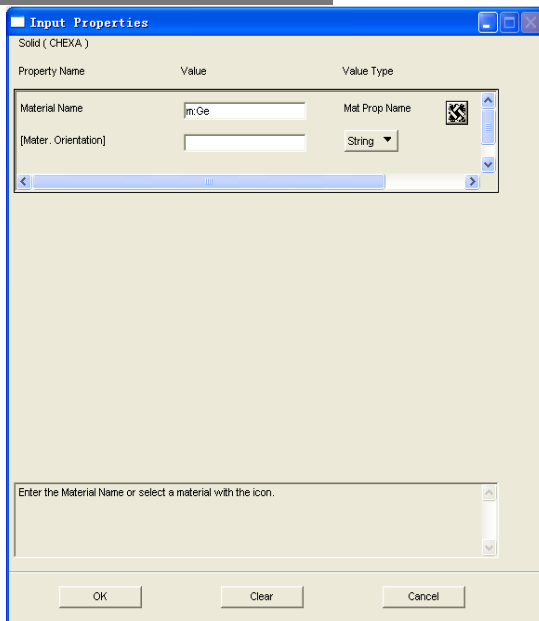


图 19-28　单元属性设置面板

19.4.5 定义温度边界条件

单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮，单击 Nodal 下的图标（Action>Create, Object>Temp（Thermal）, Type>Nodal），在 New Set Name 选项中输入 temp bottom，单击 Input data 按钮，在 Boundary Temperature 输入框中输入 70，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，选择实体底部曲面，单击 Add、OK、Apply 按钮；在 New Set Name 选项中输入 temp top，单击 Input data 按钮，在 Boundary Temperature 输入框中输入-30，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，因此时实体顶部曲面无法选取，故在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选取顶部曲面的所有 Nodes，单击 Add、OK、Apply 按钮，操作过程及曲面的选取，参见图 19-29，创建温度边界条件后的有限元模型如图 19-30 所示。

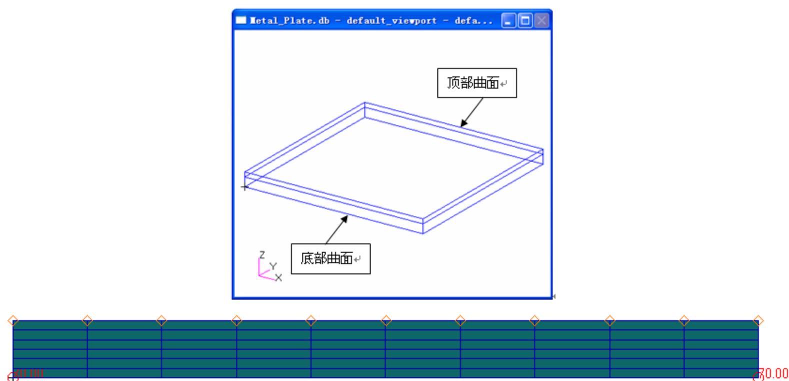


图 19-29　定义温度边界条件

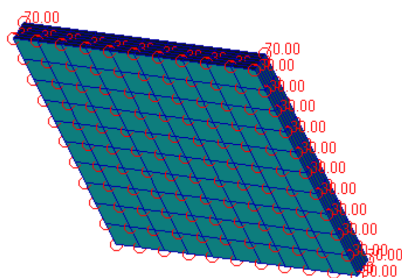


图 19-30　有限元模型

19.4.6 进行热分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，单击 Analyze 下的图标（Analyze>Entire Model>Full Run），Job Name 为 Metal_Plate 单击 Solution Type 按钮，选择求解类型为 STEADY STATE ANALYSIS ，单击 OK、Apply 按钮，系统弹出 Nastran 计算对话框，开始计算。

19.4.7 查看分析结果

（1）在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，单击 Access Results 下的图标（Action>Access Results，Object>Attach XDB），Method>Result Entities，单击 Select Results File 按钮，选择 Metal_Plate.xdb，单击 OK、Apply 按钮。

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮，单击 Quick Plot 图标（Action>Create, Object>Quick plot），在 Select Result Cases 中选择 struct_load, A1:Non-linear: 100% of Load, 在 Select Fringe Result 选项中选择 Temperatures，单击 Apply 按钮，温度分布如图 19-31 所示。

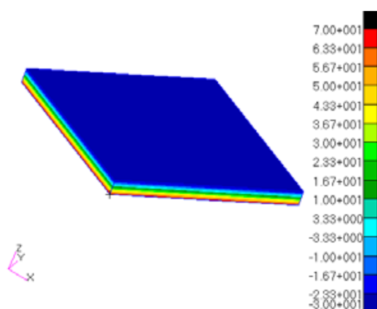


图 19-31　温度分布云图

19.4.8 定义空间场

单击 *Loads/BCs* 下的 LBC Fields 工具按钮，单击 LBC Fields 下的图标（Action>Modify, Object>Spatial），Method>FEM, 在 Field Name 中输入文件名 t_load，FEM

Field Definition 选项设置为 Continuous，Field Type 设置为 Scalar，Mesh/Results Groups Filter 设置为 Current Viewport，在 Select Group 项中，选择 Default_Group，如图 19-32 所示，单击 Apply，完成场的创建。若看不到 Apply 按钮，可以直接按 Enter 键完成场的创建。

19.4.9 更改分析类型

单击工具栏上 Preferences>Analysis…, Analysis Type 设置为 Structrual，单击 OK 按钮。

19.4.10 定义结构分析的材料属性

单击 ***Materials*** 下 Isotropic 应用工具按钮（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Manual Input），在 Material Name 输入框中 Solder_st，创建焊接材料的材料属性，单击 Input Properties…按钮，打开如图 19-33 所示材料设置面板，本构模型选择为 Linear Elastic，弹性模量为：1.3e7，泊松比为 0.4，热膨胀系数为 2.47e-5，参考温度为-30℃，单击 OK、Apply 按钮；接着创建锗的材料属性，在 Material Name 输入框中 Ge_st，单击 Input Properties…按钮，本构模型选择为 Linear Elastic，弹性模量为：1.885e7，切变模量选择：0.933e7，热膨胀系数为 5.8e-6，参考温度为-30˚，单击 OK、Apply 按钮，完成材料属性的创建。

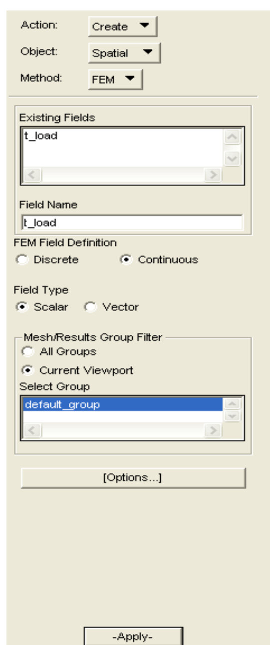


图 19-32　创建空间场

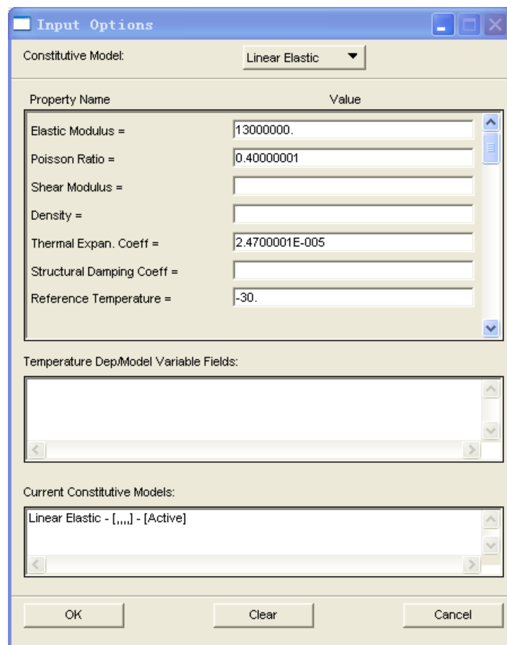


图 19-33　材料设置面板

19.4.11 定义结构分析的单元属性

单击 ***Properties*** 中 3D Properties 下的图标（Action>Create，Object>3D，Method>Solid），在 Property Set Name 中输入 Ge_st，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 Ge_st，单击 OK 按钮；在 Application Region 选项框，选择 Solid2，点击 Add、Apply 按钮；接着在 Property Set Name 中输入 Solder_st，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 Solder_st，单击 OK 按钮；在 Application Region 选项框，选择 Solid1，点击 Add、Apply 按钮，完成单元属性的创建。若无法选择实体，点击 *Home* 下的 Plot/Erase Geometry 按钮图标后即可选择。

19.4.12 创建结构分析工况

单击 ***Load/ BCs*** 下 Create Load Case 应用工具按钮，Action>Create, Load Case Name 输入框中输入 struct_load，Load Case Type 设置为：Static, 选中 Make Current 选项，单击 Apply 按钮，完成新工况的定义。

19.4.13 设置结构分析边界条件及载荷

（1） 定义温度载荷。单击 ***Loads/BCs*** 中 Nodal 下的图标（Action>Create, Object>Temperature, Type>Nodal）。在 New Set Name 选项中输入 temp_load，单击 Input data 按钮，Load/BC Set Scale Factor 设置为 1.0，Temperature 输入框中，选择空间场 t_load, 单击 OK 按钮；单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，在 Select Geometry Entities 输入框中，选择 Solid 1 2，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

（2）施加约束。单击 Nodal 下图标（Action>Create，Object>Displacement, Type>Nodal）。在 New Set Name 选项中输入 fix_z，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>输入框中，输入< , ,0 >,单击 OK。单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 FEM，选择上曲面的四个角点，若无法选取单击 ***Home*** 下的 Plot/erase FEM 按钮图标，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

19.4.14 进行结构分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，单击 Analyze 下图标（Action>Analyze，Object>Entire Model，Method>Full Run），Job Name 设置为 Matel_Plate_st，单击 Solution Type…按钮，选择求解类型为 LINEAR STATIC，单击 OK 按钮；单击 Subcases…按钮，在 Available Subcases 框中，选择 struct_load，单击 Apply 按钮；单击 Subcases Select…按钮，进行如图 19-34 所示的设置，单击 OK、Apply 按钮，系统开始计算。

19.4.15 查看分析结果

（1）在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，单击 Access Results 下的图标（Action>Access Results，Object>Attach XDB），Method>Result Entities，单击 Select Results File 按钮，选择 Matel_Plate_st.xdb，单击 OK、Apply。

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮，单击图标（Action>Create，Object>Quick plot），在 Select Fringe Result 选项中选择 Stress Tensor，在 Quantity 选项中选择 von. Mises，单击 Apply 按钮，生成如图 19-35 所示的应力云图。在 Select Fringe Result 选项中选择 Displacements，Translational，单击 Apply 按钮，位移云图如图 19-36 所示。

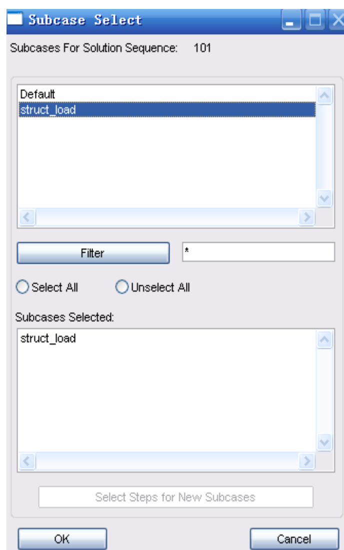


图 19-34　选择 Subcase

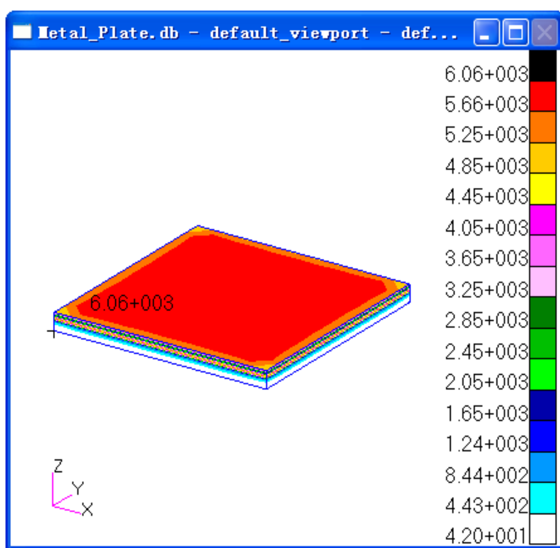


图 19-35　应力云图

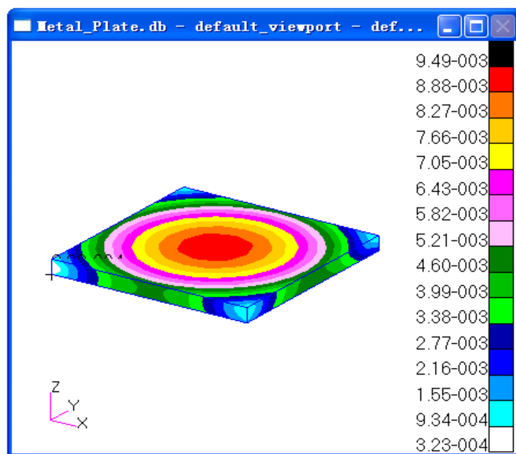


图 19-36　位移云图

19.5　方向热载荷作用下的热应力分析实例

如图 19-37 所示，圆管的直径是 1.5 in，长度为 6in，厚度为 0.0625in，圆管的材料为铝，其热传导系数为 3.96 $\text{W/in}-^{\circ}\text{C}$，直接热载荷为 30 W/in^2，环境温度为 20°C。分析问题求解过程如下。

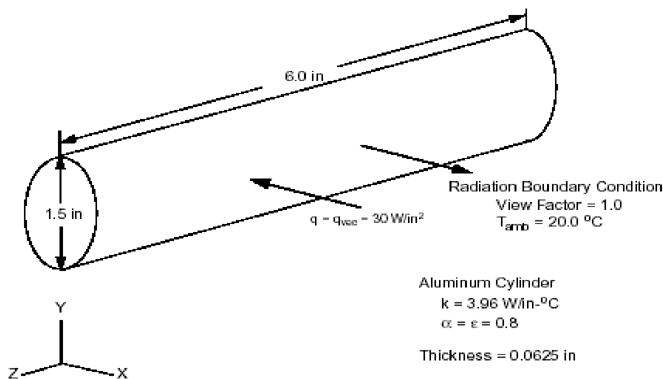


图 19-37　方向热载荷作用下的热应力分析模型

19.5.1 创建一个数据文件

单击按钮，或选择菜单 File>New 命令，输入文件名 pipe，单击 OK 创建数据文件 pipe.db。选择分析代码为 MD Nastran，选择分析类型为 Thermal，Preference Mapping 选择 Legacy Mapping。

19.5.2 创建几何模型

（1）单击 Geometry 应用工具按钮创建点。Action>Create, Object>Point, Method>XYZ, 在 Point Coordinates List 选项中，输入<0.75 0 0>，单击 Apply 按钮，创建点。

（2）创建曲线。单击 Curves 下的图标 Revolve（Action>Create, Object>Curve, Method>Revolve），Total Angle 设置为 360，在 Point List 输入框中选择 Point 1，单击 Apply 按钮，操作过程及生成的曲线参见图 19-38。

（3）创建曲面。单击 Surfaces 下的图标 Extrude（Action>Create, Object>Surface, Method>Extrude），在 Translation Vector 中输入<0 0 -6>，在 Curve List 中选择 Curve 1，单击 Apply 按钮，单击 ***Home*** 下 图标改变模型的视角，操作过程及生成的模型如图 19-39 所示。

（4）检查曲面的法线方向。在本例中正确的曲面法线方向应该是指向外部的。单击 Geometry Actions 下的图标（Action>Show），Object>Surface, info>Normal，在 Surface List 中选择 Surface 1，显示曲面的法线方向，如果与要求的法线方向相反，需要将法线反向，

通过以下操作，Action>Edit，Object>Surface，Method>Reverse。单击图标，正确的法向方向如图 19-40 所示。

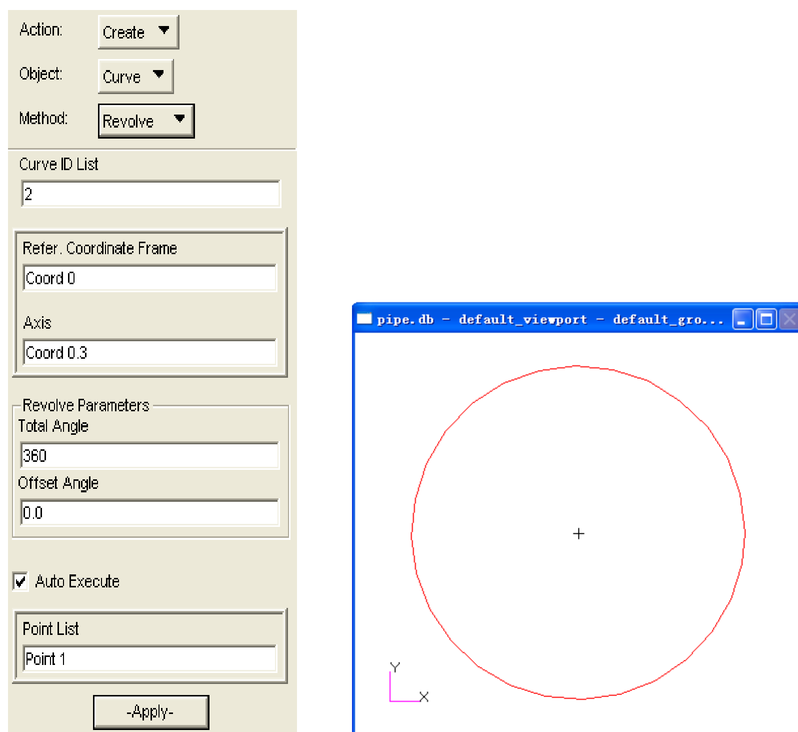


图 19-38　创建曲线

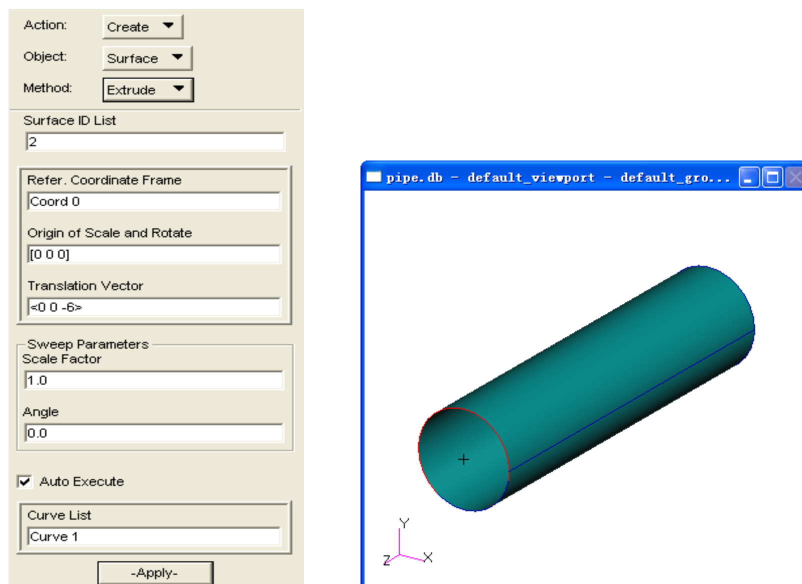


图 19-39　创建曲面

19.5.3 划分有限元网格

（1）单击 ***Meshing*** 选项卡，划分有限元模型。单击 Meshers 下的图标（Action>Create, Object>Mesh, Type>Surface），在 Global Edge Length 中设置单元尺寸为 0.1，Elem Shape 选择 Quad，Mesher 选择 Isomesh，Topology 选择 Quad 4，在 Surface List 中，选择 Surface 1，单击 Apply 按钮，完成对曲面划分网格。

（2）消除重复节点。单击 FEM Actions 下的图标（Action>Equivalence，Object>All，Method>Tolerance Cube），Equivalencing Tolerance 设置为：0.005，单击 Apply 按钮。此时的模型如图 19-41 所示。

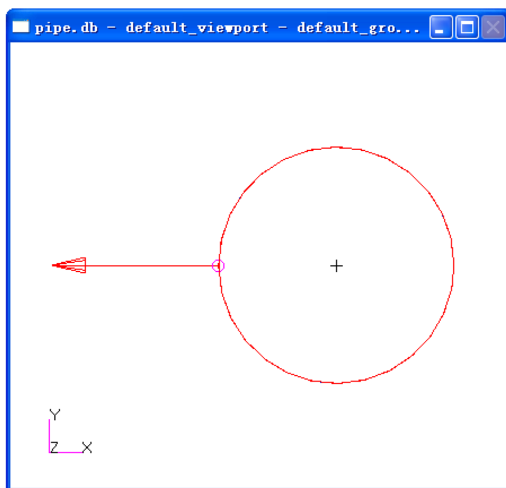


图 19-40　曲面的法线方向图

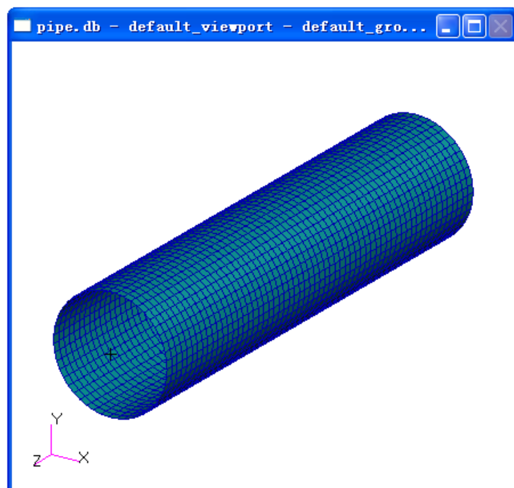


图 19-41　有限元网格图

19.5.4 定义材料属性

单击 ***Properties*** 下 Isotropic 应用工具按钮（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Mannual Input），Material Name: alum，单击打开 Input Properties 按钮对应的面板，如图 19-42 所示，Constitutive Model 选择 Solid Properties，在 Thermal Conductivity 输入框中输入 3.96，单击 OK、Apply 按钮，完成材料属性的创建。

19.5.5 定义单元属性

单击 ***Properties*** 中 2D Properties 下的图标（Action>Create，Object>2D，Method>Shell），在 Property Set Name 中输入 alum，打开 Input Properties 按钮对应的面板，如图 19-43 所示，在 Mat Prop Name 中选择 alum，Thickness 设置为 0.0625，单击 OK 按钮，在 Select Application Region 选项框，选择 Surface 1，单击 Add、Apply 按钮，完成单元属性的创建。

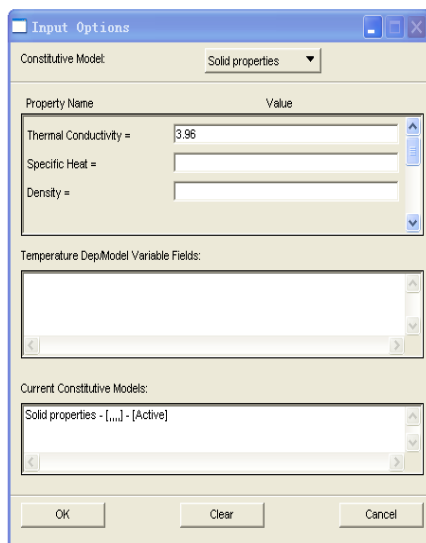


图 19-42　创建材料属性

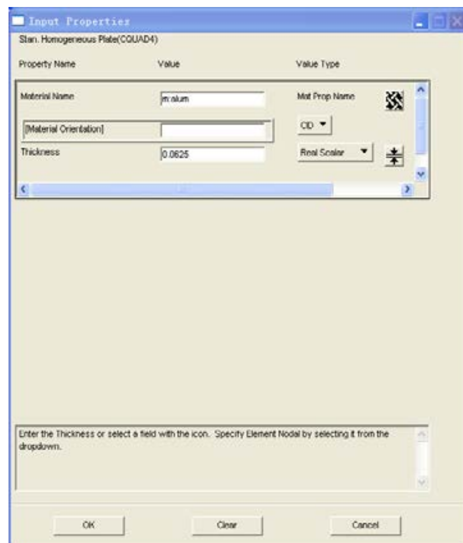


图 19-43　单元属性设置面板

19.5.6 创建边界条件及载荷

（1）施加直接热载荷。单击 ***Loads/BCs*** 应用工具按钮，单击 Element Uniform 下的图标（Action>Create, Object>Applied Heat, Type>Element Uniform），Option 选择 Directional Fluxes，在 New Set Name 选项中输入 Vector_flux，Target Element Type 设置为 2D，单击 Input data 按钮，Top Surf Absorptivity 设置为 0.8，Top Surf Heat Flux 设置为 30，Incident Thermal Vector 设置为<-1 0 0>，如图 19-44 所示，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，然后选择 Surface 1，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成热载荷的创建。

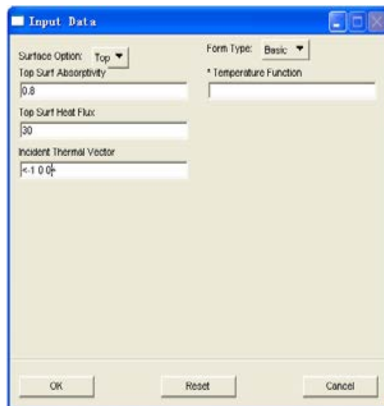


图 19-44　创建热载荷

（2）创建热辐射边界条件。单击 Elements Uniform 下的图标（Action>Create,

Object>Radiation, Type>Element Uniform），Option 选择 Ambient Space，在 New Set Name 选项中输入 rad_space，单击 Input data 按钮打开如图 19-45 所示面板，Top Surf Emissivity 设置为 0.8，Top Surf Absorptive 设置为 0.8，Ambient Temperature 设置为 20，View Factor 设置为 1.0，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region…按钮，Geometry Filter 中选择 Geometry，在 Select Surfaces or Edges 输入框中，选择 Surface 1，单击 Add、OK、Apply 按钮，此时模型如图 19-46 所示。

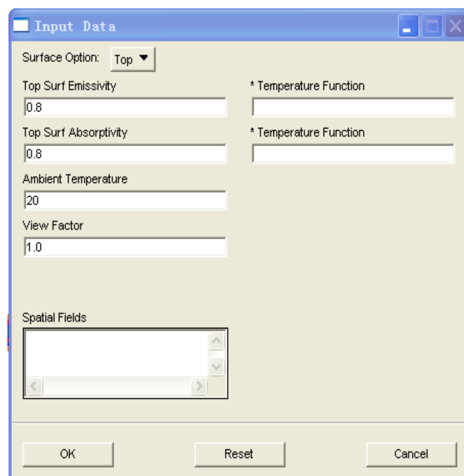


图 19-45　加载后模型

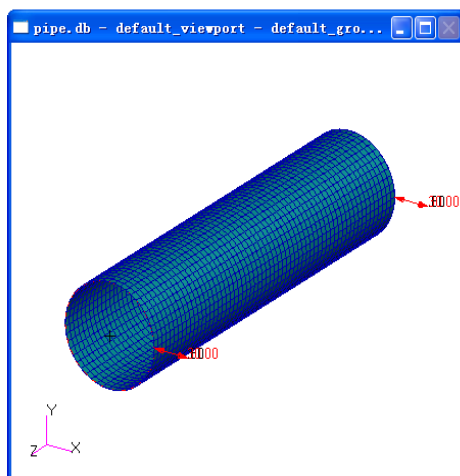


图 19-46　加载后的有限元模型

19.5.7 进行热分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，单击 Analyze 下的图标（Analyze>Entire Model>Full Run），Job Name 为 pipe，单击 Solution Type 按钮，选择求解类型为 STEADY STATE ANALYSIS，单击 Solution Parameters 按钮，然后单击 Radiation Parameters，弹出如图 19-47 所示的热辐射参数设置对话框，在 Absolute Temperature Scale 选项中选择 273.15 Degree Celsius，在 Stefan-Blotzmann Constant 选项中，选择 3.6580 E-11 WATTS/IN2/K4，依次单击 OK、OK、OK、Apply 按钮，系统弹出 Nastran 计算对话框，开始计算。

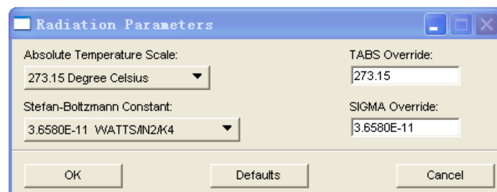


图 19-47　热辐射求解参数设置

19.5.8 查看分析结果

（1）在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，单击 Access Results 下的图标

（Action>Access Results，Object>Attac XDB，Method>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 pipe.xdb，单击 OK、Apply 按钮。

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮，单击 Quick Plot 图标（Action>Create，Object>Quick plot），在 Select Result Cases 中选择 Default，A1:Non-linear: 100% of Load，在 Select Fringe Result 选项中选 Temperatures，单击 Apply 按钮，操作过程及温度分布云图参见图 19-48 所示。

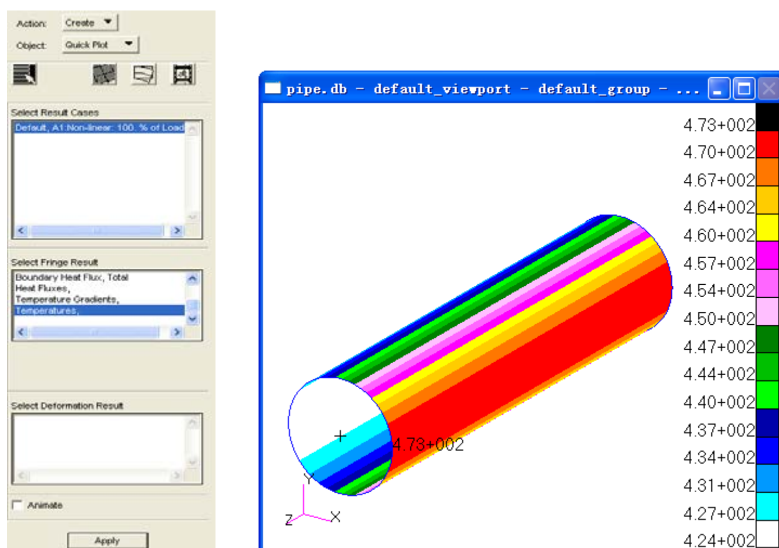


图 19-48　温度云图

19.5.9 创建空间场

单击 ***Loads/BCs*** 选项卡下 LBC Fields 工具按钮，单击 LBC Fields 下的图标（Action>Create，Object>Spatial），Method>FEM，在 Field Name 中输入文件名 temp_load，FEM Field Definition 选项设置为 Continuous, Field Type 设置为 Scalar，Mesh/Results Groups Filter 设置为 Current Viewport, 在 Select Group 项中，选择 Default_Group，单击 Apply，如看不到 Apply，直接按 Enter 键，完成场的创建。

19.5.10 更改分析类型

单击 Preferences>Analysis…, Analysis Type 设置为 Structural，单击 OK 按钮。

19.5.11 定义结构分析的材料属性

单击 ***Properties*** 下 Isotropic 应用工具按钮（Action>Create，Object>Isotropic，Method>Manual Input），在 Material Name 输入框中 alum_st, 创建铝的材料属性，单击 Input

Properties…按钮，打开如图 19-49 所示材料设置面板，本构模型选择为 Linear Elastic，弹性模量为：1.0e7，泊松比为 0.34，热膨胀系数为 1.3e-5，参考温度为 0°，单击 OK、Apply 按钮，完成材料属性的创建。

19.5.12 定义结构分析单元属性

单击 ***Properties*** 中 2D Properties 下的图标（Action>Create，Object>2D，Method>Shell），在 Property Set Name 中输入 alum_st，打开 Input Properties 按钮对应的面板，在 Mat Prop Name 中选择 alum_st，Thickness 设置为 0.0625，单击 OK 按钮；在 Application Region 选项框，选择 Surface 1，点击 Add、Apply 按钮，完成单元属性的创建。

19.5.13 创建结构分析工况

单击 ***Load/BCs*** 下 Create Load Case 应用工具按钮（Action>Create），Load Case Name 输入框中输入 struct_load，Load Case Type 设置为：Static，选中 Make Current 选项，单击 Apply 按钮，完成新工况的定义。

19.5.14 设置结构分析边界条件及载荷

（1）定义温度载荷。单击 ***Loads/BCs*** 中 Nodal 下的图标（Action>Create，Object>Temp（Thermal），Type>Nodal）。在 New Set Name 选项中输入 temp_load，单击 Input data 按钮，Load/BC Set Scale Factor 设置为 1.0，在 Temperature 输入框中选择空间场 temp_load，单击 OK 按钮，单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，在 Select Geometry Entities 输入框中，选择 Surface 1，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

（2）施加约束。单击 Nodal 下的图标（Action>Create，Object>Displacement，Type>Nodal）。在 New Set Name 选项中输入 clamp_bc，单击 Input data 按钮，在 Translations<T1 T2 T3>和 Rotations<R1 R2 R3>输入框中，输入<0,0,0 >，单击 OK。单击 Select Application Region，在 Geometry Filter 选项中选择 Geometry，选择 Curve1 Surface 1，单击 Add、OK、Apply 按钮，完成创建。

19.5.15 进行结构分析

单击 ***Analysis*** 应用工具按钮，单击 Analyze 下图标（Action>Analyze，Object>Entire Model，Method>Full Run），Job Name 设置为 pipe_st，单击 Solution Type…按钮，选择求解类型为 LINEAR STATIC，单击 OK 按钮；单击 Subcases…按钮，在 Available Subcases 框中，选择 struct_load，单击 Apply 按钮；单击 Subcases Select…按钮，进行如图 19-50 所

示的设置，单击 OK、Apply 按钮，系统开始计算。

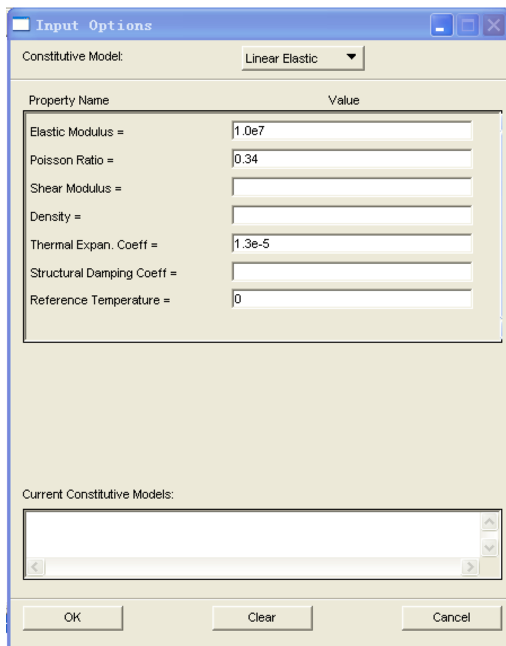


图 19-49　材料设置面板

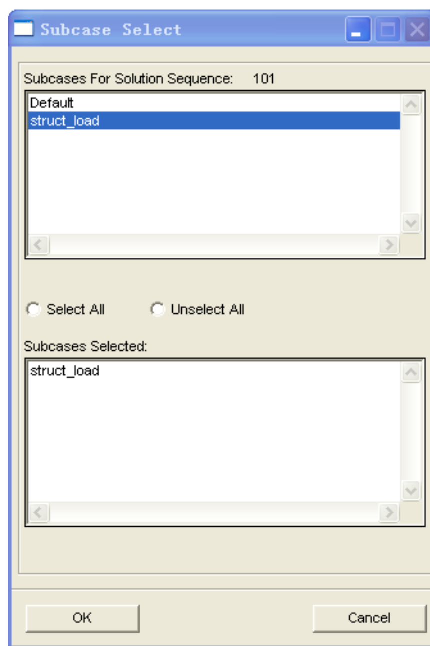


图 19-50　选择 Subcase

19.5.16 查看分析结果

（1）在 ***Analysis*** 应用工具按钮对应的菜单下，单击 Access Results 下的图标（Action>Access Results，Object>Attach XDB，Method>Result Entities），单击 Select Results File 按钮，选择 pipe_st.xdb，单击 OK、Apply。

（2）单击 ***Results*** 应用工具按钮，单击图标（Action>Create，Object>Quick plot），在 Select Fringe Result 选项中选择 Stress Tensor，选择 Position…（At Z1），单击 Close 确定，在 Quantity 选项中选择 von. Mises，单击 Apply 按钮，生成如图 19-51 所示的应力云图。

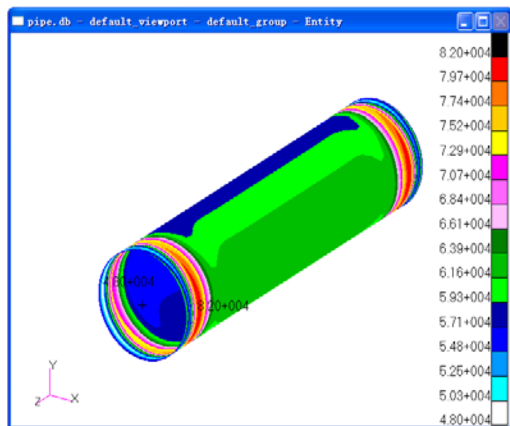


图 19-51　应力云图

19.6 稳态热传导分析实例

结构同时承受热传导和对流作用，通过 patran 建模， Nastran 求解得到温度场分布。在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\thermal_structural.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\thermal_structural.bdf。

19.6.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击菜单栏 File/New，输入数据库文件名 thermal_structural.db，点击 OK 按钮。

（2）如图 19-52 所示，在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Based on Model，Analysis Code=Nastran，在 Model Dimension 文本框中输入 2.0，设置 Analysis Type=Thermal，点击 OK 按钮退出页面。

提示：Analysis Type 里面选择 Thermal，表示进行热分析。

（3）点击 File 下的 Session>Play 命令，在如图 19-53 所示的 Play Session File 对话框内选择 thermal_structural.ses 文件，点击 Apply 按钮，得到如图 19-54 所示的网格模型。

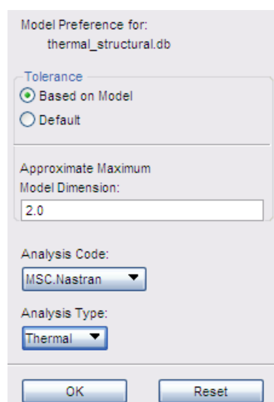


图 19-52　New Model Preference 页面

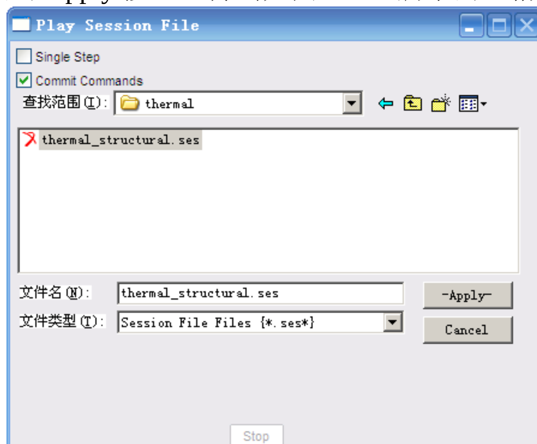


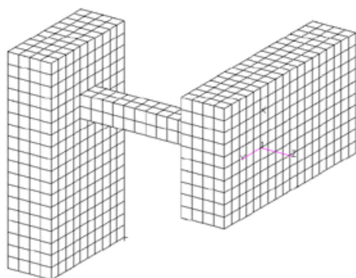
图 19-53　Play Session File 对话框

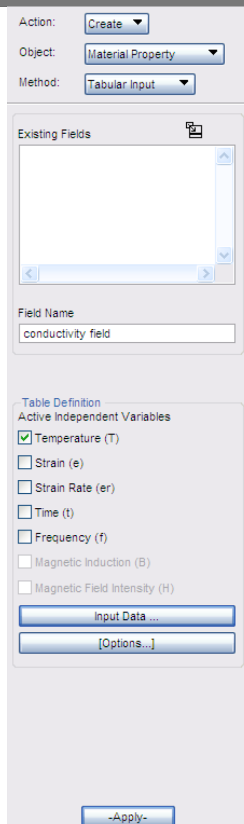
19.6.2 定义材料表

（1）点击工具栏 Properties 下的 Materia 按钮，打开如图 19-55 所示的 Fields 页面，依次设置 Action=Create，Object=Material Property，Method=Tabular Input。

（2）如图 19-55 所示，在 Field Name 文本框中输入 conductivity field。

（3）如图 19-55 所示，点击 Input Data…按钮，弹出如图 19-56 所示的 1D Material Scalar Table Data 页面，在页面中填写如图 19-56 所示的数值，点击 OK 按钮退出页面，点击 Apply 按钮生成该表。





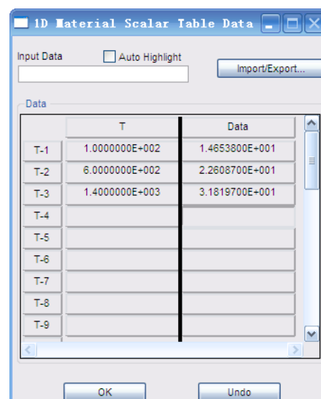


图 19-54　网格模型　　　图 19-55　Fields 页面　　图 19-56　1D Material Scalar Table Data 页面

19.6.3 定义材料本构关系

（1）点击 Properties 下的 Isotropic 按钮，打开如图 19-57 所示的 Materials 页面，依次设置 Action=Create，Object=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 19-57 所示，在 Material Name 文本框中输入 Stainless 17-4 pH。

（3）如图 19-57 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 19-58 所示的 Input Options 页面，在 Conductivity 文本框中选择 conductivity_field，点击 OK 按钮退出页面。

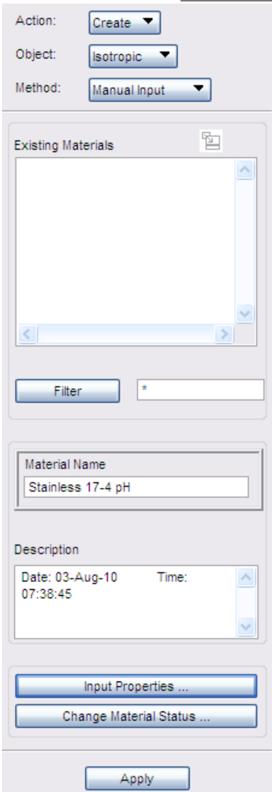
（4）如图 19-57 所示，点击 Apply 按钮完成材料定义。

19.6.4 定义单元属性

（1）点击工具栏下的 Properties 按钮，打开如图 19-59 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Object=3D，Method=Solid。

（2）如图 19-59 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 Porp thermal。

（3）如图 19-59 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 19-60 所示的 Input Properties 页面。在 Material Name 文本框中选择 Stainless_17-4_pH 材料，点击 OK 按钮退出页面。



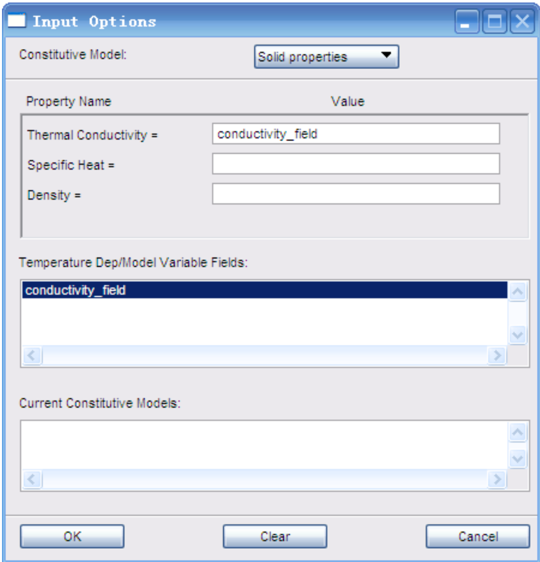


图 19-57　Materials 页面　　　　图 19-58　Input Options 页面

（4）如图 19-59 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 19-61 所示的 Select Application Region 页面。在 Select Members 文本框中选择整个几何模型，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面,。

（5）如图 19-59 所示，点击 Apply 按钮生成属性。

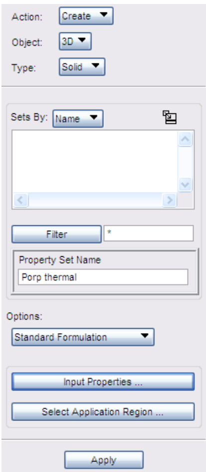


图 19-59　Element Properties 页面

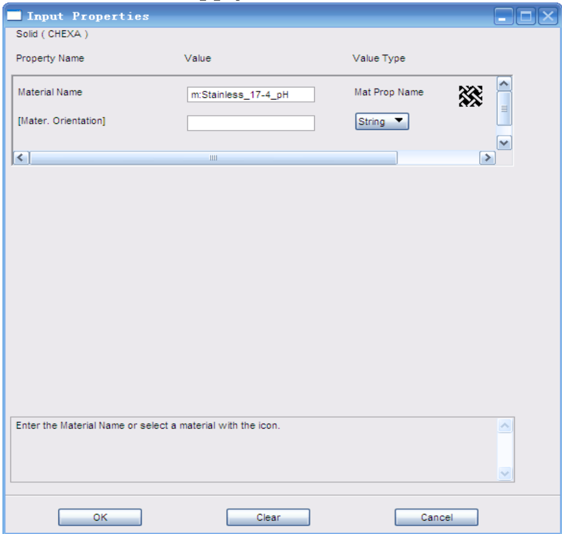


图 19-60　Input Properties 页面

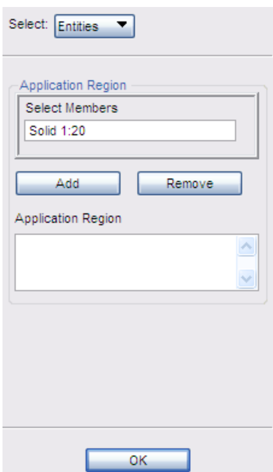
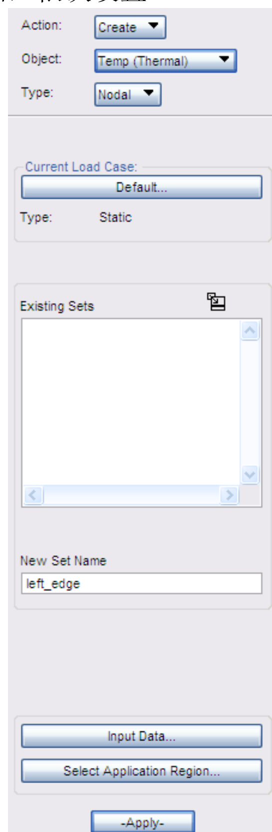
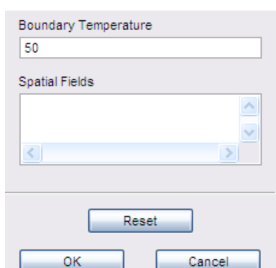


图 19-61　Select Application Region 页面

19.6.5 建立温度边界条件

（1）点击工具栏下的 Load/BCs 按钮，打开如图 19-62 所示的 Loda/Boundary Conditions 页面，依次设置 Action=Create，Object=Temp(Thermal)，Type=Nodal。





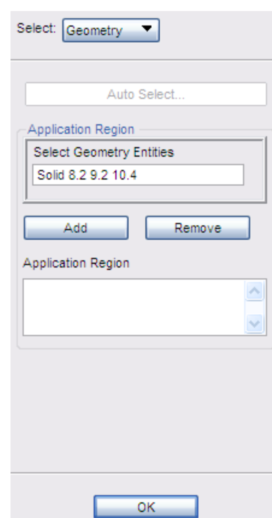


图 19-62 Load/Boundary Conditions　　图 19-63 Input Data　　图 19-64 Select Application Region

（2）如图 19-62 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中输入 left_edge。

（3）如图 19-62 所示，点击 Input Data...，打开如图 19-63 所示的 Input Data 页面，在 Boundary 文本框中输入数值 50，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 19-62 所示，点击 Select Application Region...按钮，打开如图 19-64 所示的 Select Application Region 页面。设置 Select=Geometry，在 Select Geometry Entities 文本框中，选择 Surface or Face 图标，选择左端底面的三个表面，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 19-62 所示，点击 Apply 按钮生成定义的温度边界条件。

（6）采用相同的方法定义温度边界条件 right_edge，其中温度值为 135，作用区域为 Solid 20.2 19.4 119.4，最终得到如图 19-65 所示的有限元模型。

（7）在如图 19-66 所示的 Load/Boundary Conditions 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Convection，Type=Element Uniform，Option=To Ambient。

（8）如图 19-66 所示，在页面中部的 New Set Name 文本框中输入 convection。

（9）如图 19-66 所示，点击 Input Data...，打开如图 19-67 所示的 Input Data 页面，在 Convection Coefficient 文本框中输入数值 20，Ambient Temperature 文本框中输入数值 30，

点击 OK 按钮退出页面。

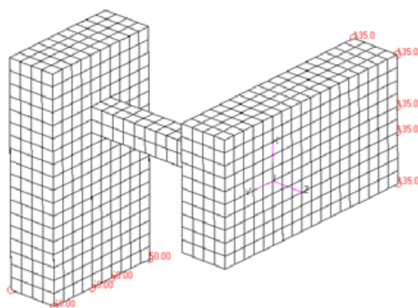
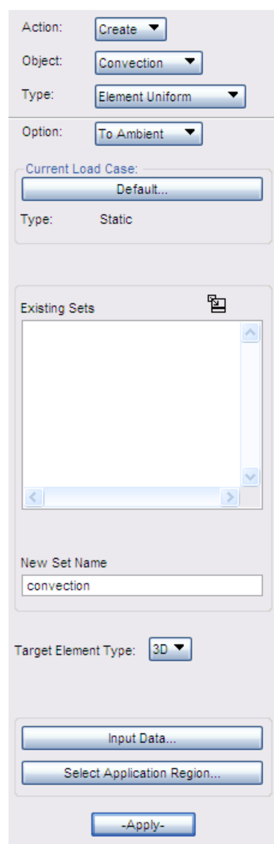


图 19-65　有限元模型



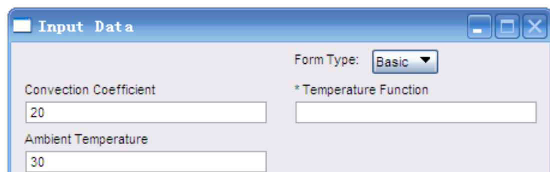


图 19-66　Load/Boundary Conditions 页面　　　　图 19-67　Input Data 页面

（10）如图 19-66 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 19-68 所示的 Select Application Region 页面。设置 Select=Geometry，在 Select Solid Faces 文本框中，选择 Free face of a solid 图标，选择模型中间区域全部表面，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（11）如图 19-66 所示，点击 Apply 按钮生成定义的温度边界条件，最终得到如图 19-69 的有限元模型。

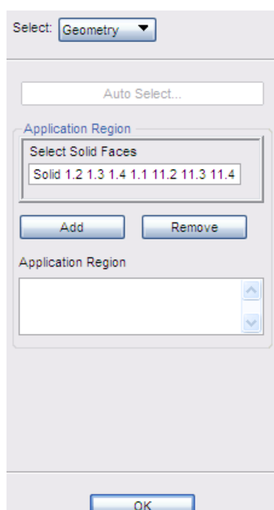


图 19-68 Select Application Region 页面

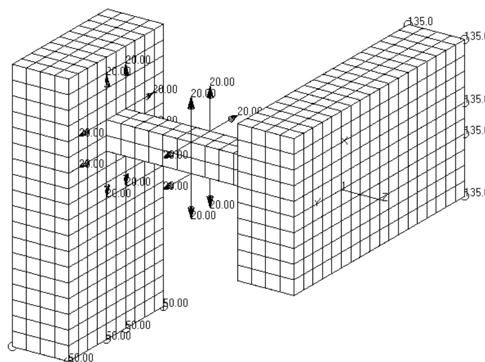


图 19-69 有限元模型

19.6.6 提交分析作业

（1）点击工具栏 Analysis 按钮，打开如图 19-70 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 19-70 所示，在 Job Name 文本框中输入 thermal_job1。

（3）如图 19-70 所示，点击 Solution Type 按钮，进入到如图 19-71 所示的 Solution Type 页面。注意到 Solution Type=STEADY STATE ANALYSIS。在页面下方，显示了求解序列 Solution Sequence：153，这表示 MSC.Nastran 稳态热分析的求解序列编号为 153，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 19-70 所示，点击 Apply 按钮，在 Patran 默认目录下生成 bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择 thermal_job1.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

19.6.7 查看结果

（1）计算完毕后，重新依次设置 Action=Access Results，Objective=Attach XDB，Method=Result Entities。点击 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

（2）点击命令栏 Display 下的 Plot/Erase…命令，点击 Geometry 下的 Erase 按钮，消除几何模型显示。

（3）点击工具栏中的 Results 按钮，打开如图 19-72 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick Plot。

（4）如图 19-72 所示，在 Select Result Cases 列表中选择 Default,A1:Non-linear:100.% of Load，在 Select Fringe Result 列表中选择 Tmperatures，点击 Apply 按钮，得到如图 19-73 所示的温度场分布云图。

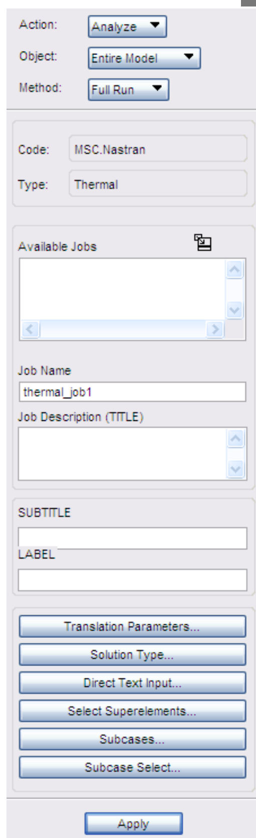


图 19-70　Analysis 页面

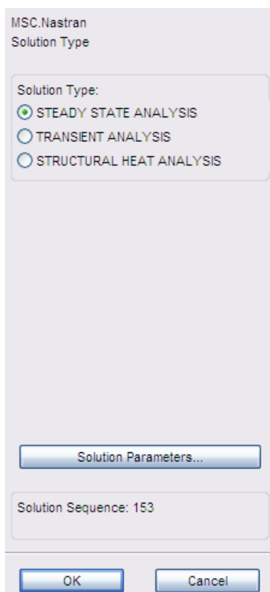


图 19-71　Solution Type 页面

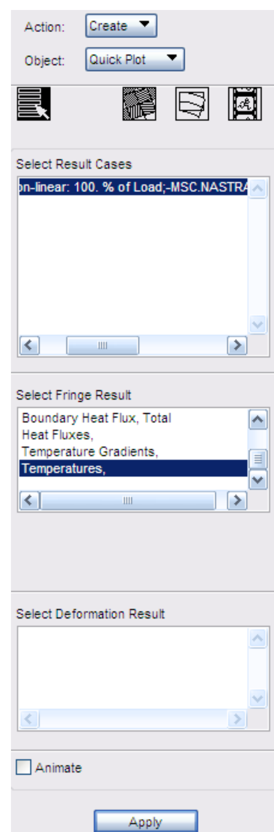


图 19-72　Results 页面

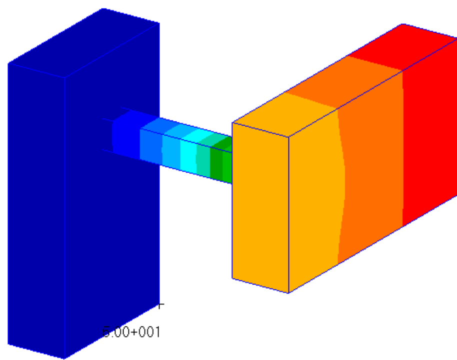


图 19-73　温度场分布云图

19.7 瞬态热传导分析实例

在随书光盘的如下文件夹中可以找到本实例完成后的文件：

（1）Patran 模型数据库文件(.db)：\Thermal_flow.db。

（2）bdf 文件和结果文件：\Thermal_flow.bdf。

19.7.1 创建数据库模型

（1）新建 Patran 空数据文件。点击菜单栏 File/New，输入数据库文件名 Thermal_flow.db，点击 OK 按钮。

（2）在 New Model Preference 页面中确认 Tolerance=Based on Model，Analysis Code=MSC.Nastran，在 Model Dimension 文本框中输入 10.0，设置 Analysis Type=Thermal，点击 OK 按钮退出页面。

19.7.2 创建几何模型

（1）点击工具栏上的 Geometry 按钮，打开如图 19-74 所示的 Geometry 页面，依次设置 Action=Create，Object=Curve，Method=Revolve。

（2）如图 19-74 所示，在页面中部的 Total Angle 文本框中输入数值 45，在 Point List 文本框中输入[1, 0, 0]，点击 Apply 按钮生成圆弧。

（3）如图 19-75 所示，重新设置 Action=Create，Object=Curve，Method =XYZ。在 Vector Coordinates List 文本框中输入<0, 1.5, 0>，在 Origin Coordinates List 文本框中输入[1.5, 0, 0]，点击 Apply 按钮生成直线段。

（4）如图 19-76 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Surface，Method =Curve。勾选取消 Auto Execute，在 Starting Curve List 和 Ending Curve List 文本框中分别输入 Curve 1 和 Curve 2，点击 Apply 按钮生成面，得到如图 19-77 所示的几何面。

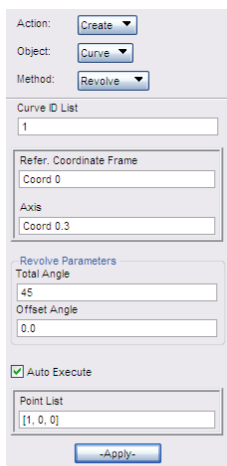


图 19-74　Geometry 页面

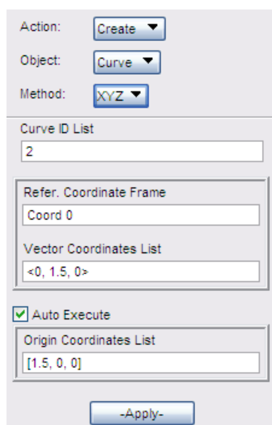


图 19-75　Geometry 页面

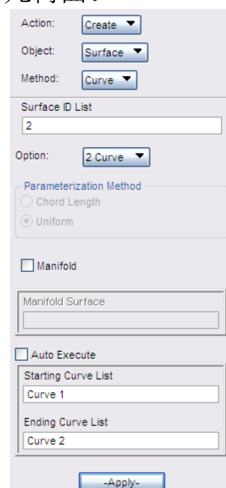


图 19-76　Geometry 页面

19.7.3 网格划分

（1）点击工具栏上的 Meshing 按钮，打开如图 19-78 所示的 Finite Elements 页面，依次设置 Action=Create，Object=Mesh Seed，Type=Uniform。

（2）如图 19-78 所示，在页面中部，选择 Number of Elements，在 Number=文本框中

输入数值 4，勾选取消 Auto Execute 选项，在 Curve List 文本框中选择全部曲线，点击 Apply 按钮完成网格种子点设置。

（3）点击命令栏 Group 下的 Create 命令，打开如图 19-79 所示的 Group 页面，在页面中部 New Group Name 文本框中输入 fem，确认 Make Current 处于选择状态，点击 Apply 按钮生成该组，点击 Cancel 退出该页面。

（4）如图 19-80 所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Mesh，Type=Surface。在页面中部依次设置 Elem Shape=Quad，Mesher=IsoMesh，Topology=Quad8。

（5）如图 19-80 所示，在 Surface List 文本框中选取全部面，勾选取消 Automatic Calculation 选项，点击 Apply 按钮生成如图 19-81 所示的网格模型。

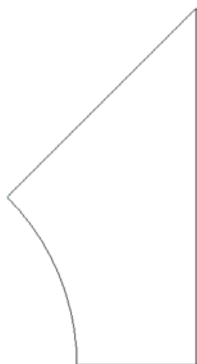


图 19-77　几何模型

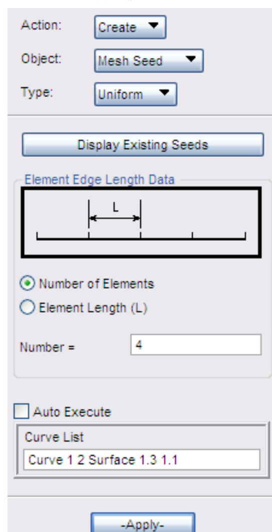


图 19-78　Finite Elements 页面

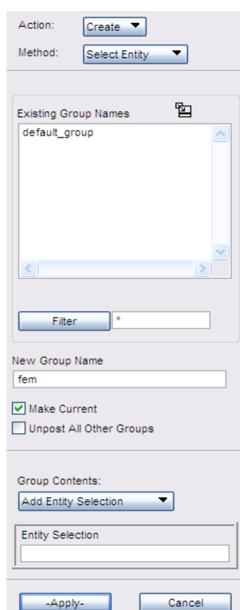


图 19-79　Group 页面

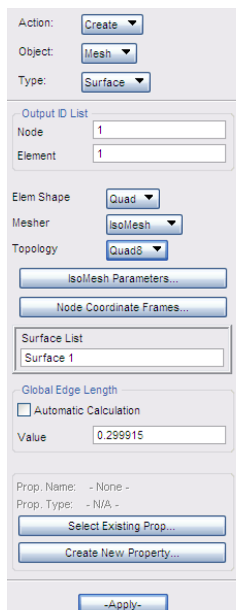


图 19-80　Finite Elements 页面

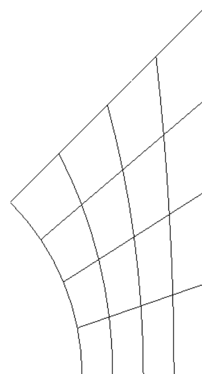


图 19-81　网格模型

19.7.4 定义材料本构关系

（1）点击工具栏 Properties 下的 Isotropic 按钮，打开如图 19-82 所示的 Materials 页面，依次设置 Action=Create，Object=Isotropic，Method=Manual Input。

（2）如图 19-82 所示，在 Material Name 文本框中输入 Steel。

（3）如图 19-82 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 19-83 所示的 Input Options 页面。在 Constitutive Model 列表框中选择 Solid properties。在 Thermal Conductivity 文本框中输入数值 0.000485，在 Specific Heat 文本框中输入数值 0.116，在 Density 文本框中输入数值 0.283，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 19-82 所示，点击 Apply 按钮，完成材料定义。

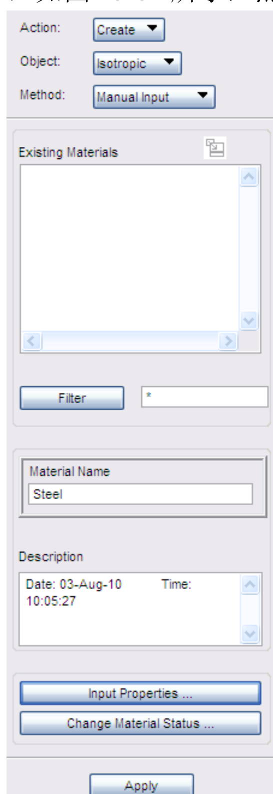


图 19-82 Materials 页面

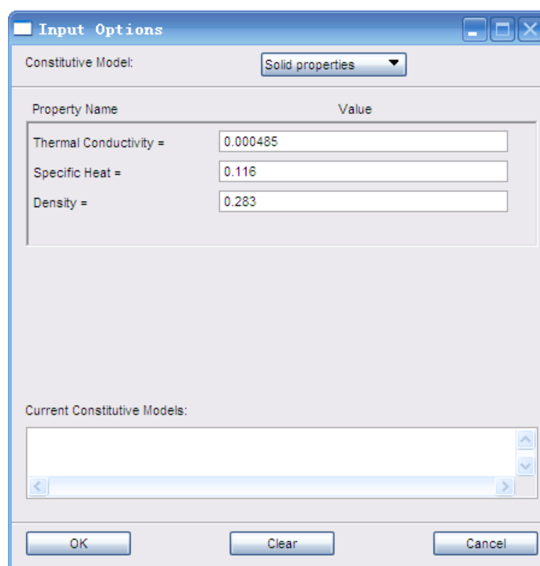


图 19-83 Input Options 页面

19.7.5 定义单元属性

（1）点击工具栏 Properties 下的 Shell 按钮，打开如图 19-84 所示的 Element Properties 页面，依次设置 Action=Create，Objective=2D，Type=Membrane。

（2）如图 19-84 所示，在 Property Set Name 文本框中输入 prop1。

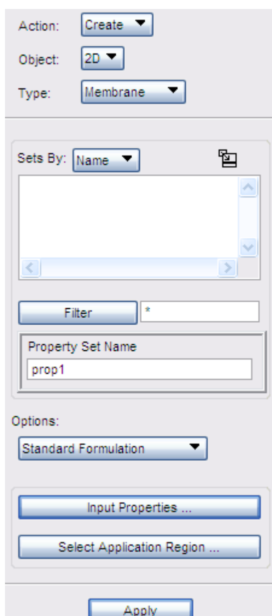
（3）如图 19-84 所示，点击 Input Properties…按钮，打开如图 19-85 所示的 Input Properties 对话框。

（4）如图 19-85 所示，点击 Material Name 右侧的按钮，打开 Select Material 窗口，

点击列表中的 Steel，在 Thickness 文本框中输入数值 1.0，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 19-84 所示，点击 Select Appication Region…按钮，打开如图 19-86 所示的 Select Application Region 页面。点击 Select Members 输入框，在图形区域内选择全部面，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（6）如图 19-84 所示，点击 Apply 按钮生成属性。



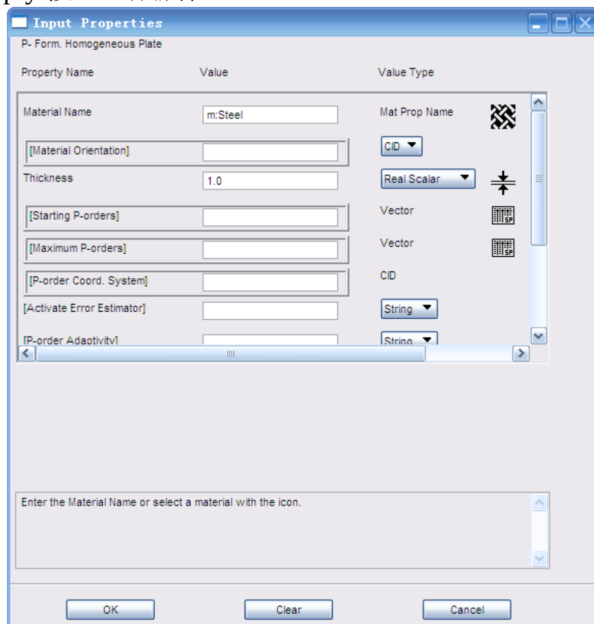


图 19-84　Element Properties 页面　　　　图 19-85　Input Properties 页面

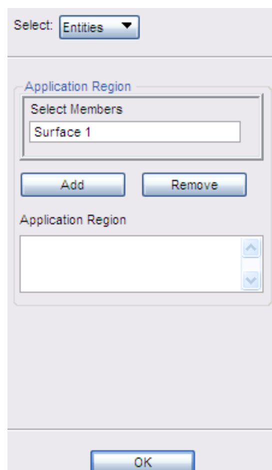


图 19-86　Select Application Region 页面

19.7.6 创建瞬态分析表

（1）点击工具栏的 Load/BCs 按钮，然后点击下面最右端的按钮。

（2）在如图 19-87 所示的 Fields 页面中，依次设置 Action=Create，Object=Non Spatial，

Method=Tabular Input。

（3）如图 19-87 所示，在 Field Name 文本框中输入 inner temp。

（4）如图 19-87 所示，选择 Time (t)选项，点击 Input Data…按钮。打开如图 19-88 所示的 Non Spatial Scalar Table Data 页面，在页面中输入如图 19-88 所示的数值，点击 OK 按钮退出页面，

（5）如图 19-87 所示，点击 Apply 按钮生成相应的表。

（6）采用相同的方法，定义名为 Outer temp 的时间表，其数值如图 19-89 所示。

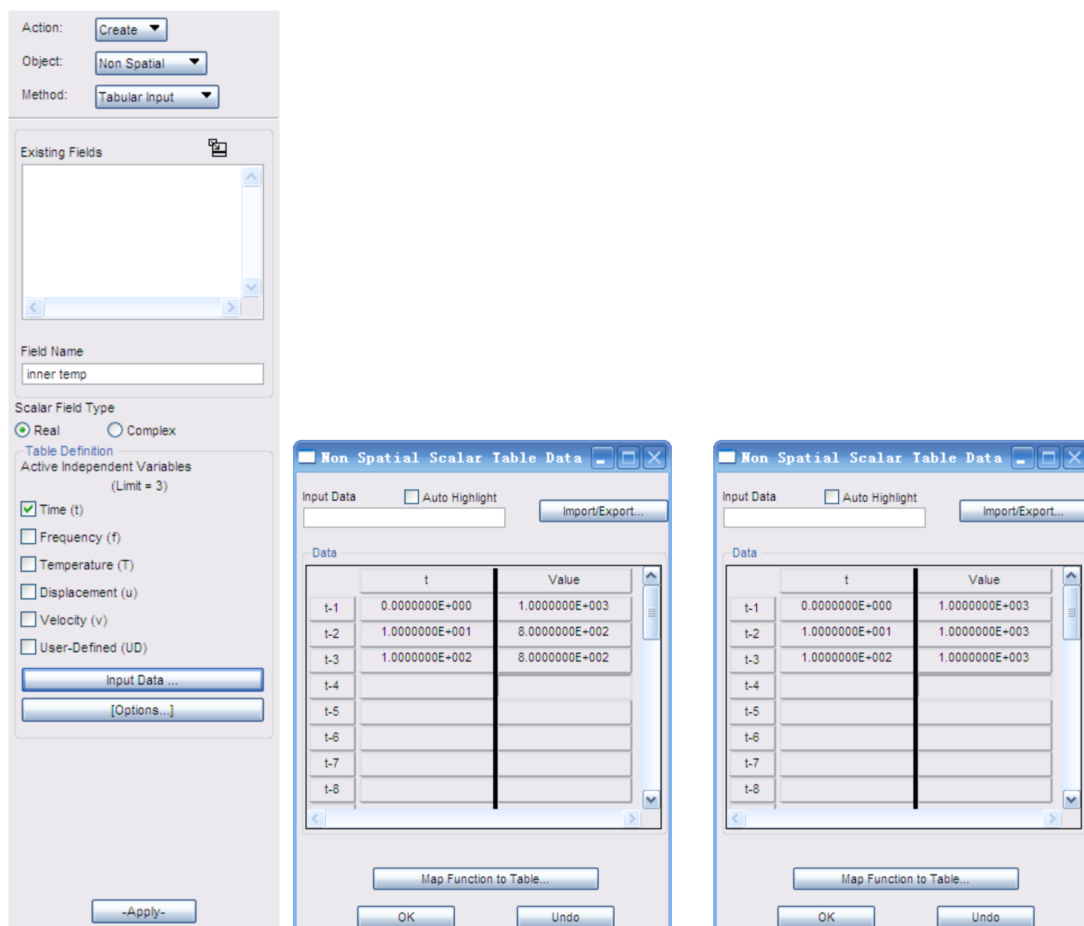


图 19-87　Fields　　图 19-88　Non Spatial Scalar Table Data　图 19-89　Non Spatial Scalar Table Data

19.7.7 创建瞬态工况

（1）点击菜单栏 Load/BCs 下的 Load Cases 按钮，打开图 19-90 所示的在 Load Cases 页面，设置 Action=Create。

（2）如图 19-90 所示，在 Load Case Name 文本框中输入 transient load case，确认 Make Current 处于选择状态，设置 Type=Time Dependent，点击 Apply 按钮生成瞬态工况。

19.7.8 建立温度边界条件

（1）点击菜单栏下的Loads/BCs按钮，打开如图19-91所示的Load/Boundary Conditions页面，依次设置 Action=Create， Object=Initial Temperature， Type=Nodal。

（2）注意到 Current Load Case=transient load case，如图 19-91 所示，在 New Set Name 文本框中 initial_t。

（3）如图 19-91 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 19-92 所示的 Input Data 页面，在 Initial Temperature 文本框中输入数值 100，点击 OK 按钮退出页面。

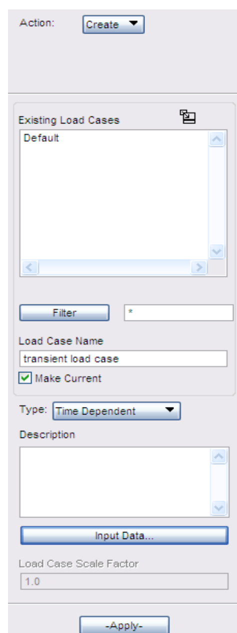


图 19-90　Load Cases 页面

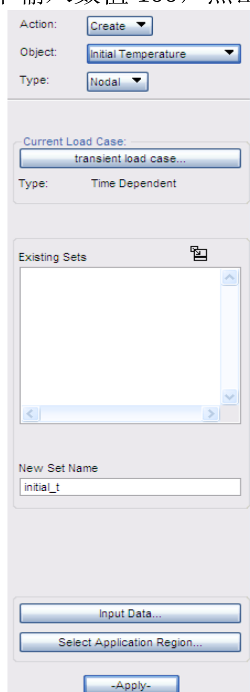


图 19-91　Load/Boundary Conditions 页面

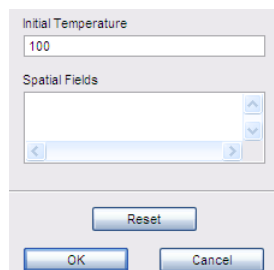


图 19-92　Input Data 页面

（4）如图 19-91 所示，点击 Select Application Region...按钮，打开如图 19-93 所示的 Select Application Region 页面，在 Select Geometry Entities 文本框中选择全部表面，点击 Add 按钮，添加至 Application Region 列表中，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 19-91 所示，点击 Apply 按钮生成该温度条件。

（6）如图 19-94 所示 Load/Boundary Conditions 页面中，重新依次设置 Action=Create，Object=Convection，Type=Element Uniorm。

（7）如图 19-94 所示，在 New Set Name 文本框中输入 Inner_convection，设置 Target Element Type=2D。

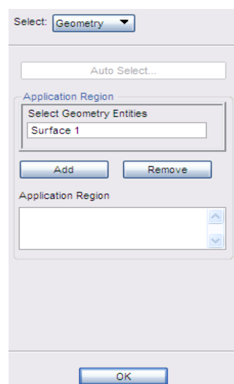


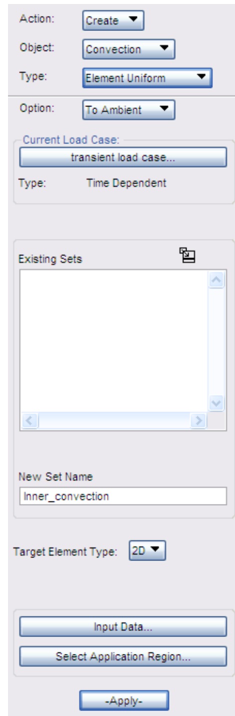
图 19-93　Select Application Region 页面

（8）如图 19-94 所示，点击 Input Data…按钮，打开如图 19-95 所示的 Input Data 页面，设置 Surface Option:=Edge，在 Edge Convection Coef

文本框中输入数值 0.0005，在 Ambient Temperature 文本框中输入数值 1，在*Time Function 文本框中输入并选择 inner_temp，点击 OK 按钮退出页面。

（9）如图 19-94 所示，点击 Select Application Region…按钮，打开如图 19-96 所示的 Select Geometry Entities 页面。在 Select Surfaces or Edges 文本中选择左端圆弧线，点击 Add 按钮，添加至 Select Application Region 中，点击 OK 按钮退出页面。

（10）如图 19-94 所示，点击 Apply 按钮生成该边界条件。



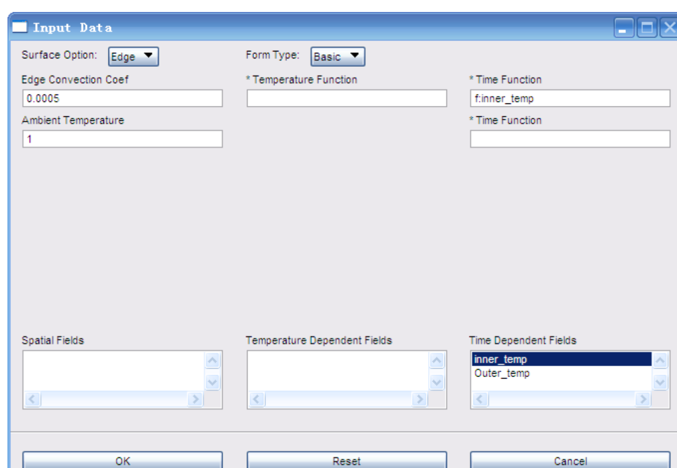
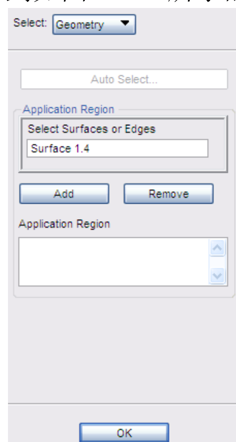


图 19-94　Load/Boundary Conditions 页面　　　　图 19-95　Input Data 页面

（11）采用相同的方法，定义边界条件 outer convection，其中 Edge Convection Coef 为 0.00001，Ambient Temperature 为 1，*Time Function 为 outer_temp，作用区域为有段的直线段。得到如图 19-97 所示的有限元模型。



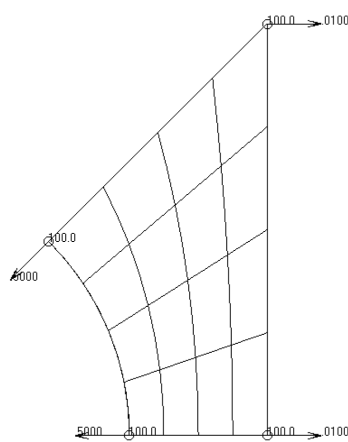


图 19-96　Select Geometry Entities 页面　　　　图 19-97　有限元模型

19.7.9 提交分析作业

（1）点击工具栏上的 Analysis 按钮，打开如图 19-98 所示的 Analysis 页面，依次设置 Action=Analyze，Object=Entire Model，Method=Full Run。

（2）如图 19-98 所示，在 Job Name 文本框中输入 transient case。

（3）如图 19-98 所示，点击 Solution Type…按钮，打开如图 19-99 所示的 Solution Type 页面。注意到 Solution Type=TRANSIENT ANALYSIS。在页面下方，显示了求解序列 Solution Sequence：159，这表示 MSC.Nastran 瞬态热分析的求解序列编号为 159，点击 OK 按钮退出页面。

（4）如图 19-98 所示，点击 Subcases…按钮，打开如图 19-100 所示的 Subcass 页面。在 Available Subcases 列表中双击 transient load case，点击 Subcase Parameters…按钮，打开如图 19-101 所示的 Subcase Parameters 页面。设置 initial Time Step=1，Number of Time Steps=100，点击 OK 按钮退出页面。

（5）如图 19-100 所示，点击 Apply 按钮完成设置，点击 Cancel 按钮退出 Subcases 页面。

（6）如图 19-98 所示，点击 Subcase Select…按钮，打开如图 19-102 所示的 Subcase Select 页面选择 Transient load case 作为计算工况。点击 OK 按钮退出 Subcase Select 页面。

（7）如图 19-98 所示，点击 Apply 按钮生成 bdf 文件。点击 MSC Nastran2010 图标，在弹出的对话框中选择 transient_case.bdf 文件，在 MSC.Nastran Command Information 对话框中点击 Run 以运行上述 bdf 文件，直至分析求解结束。

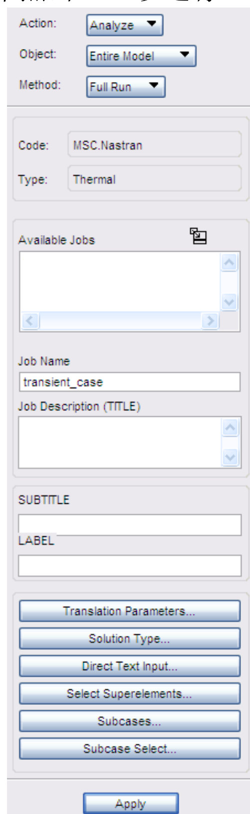


图 19-98　Analysis 页面

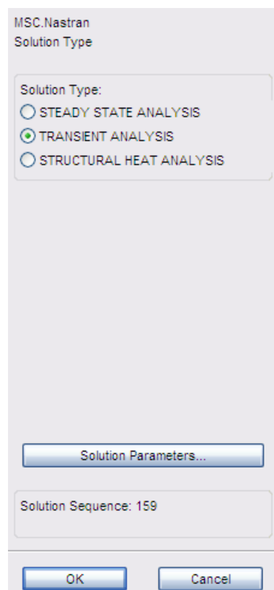


图 19-99　Solution Type 页面

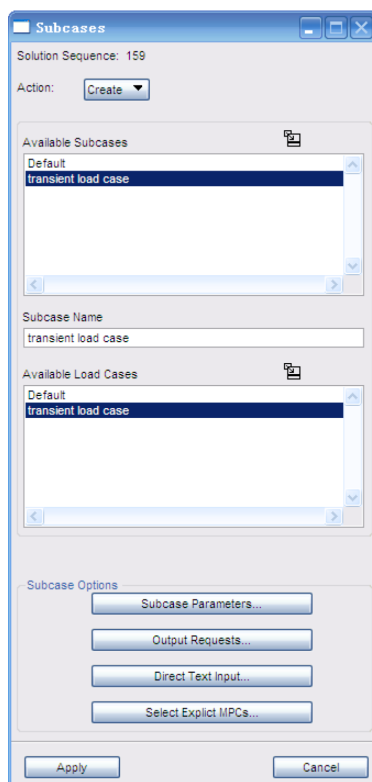


图 19-100　Subcases 页面

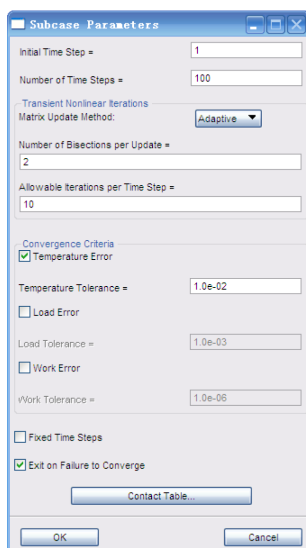


图 19-101　Subcase Parameters 页面

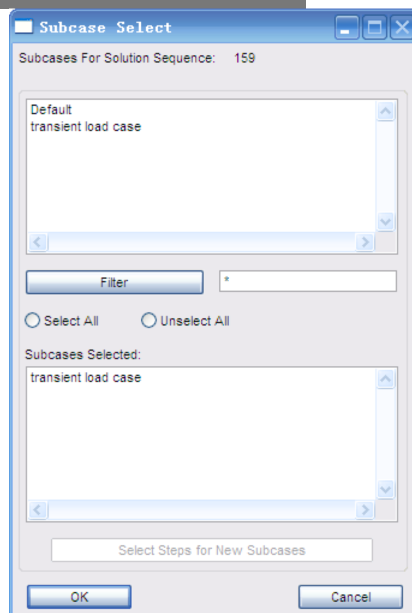


图 19-102　Subcase Select 页面

19.7.10 查看结果

（1）计算完毕后，在如图 19-103 所示的 Analysis 页面，重新依次设置 Action=Access Results，Object=Attach XDB，Method=Result Entities。点击 Select Results File…按钮，选择 xdb 结果文件进行关联。

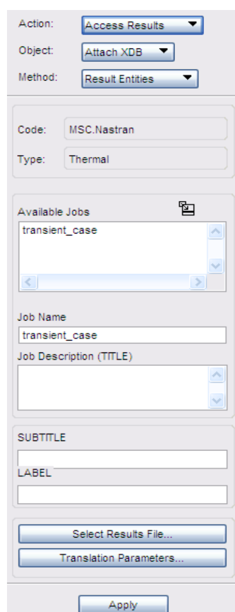


图 19-103　Analysis 页面

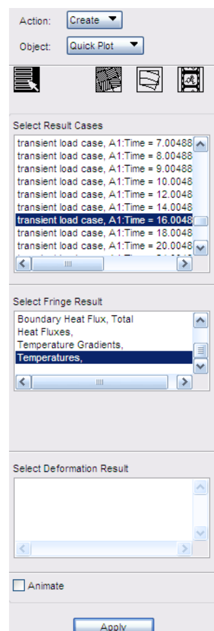


图 19-104　Results 页面

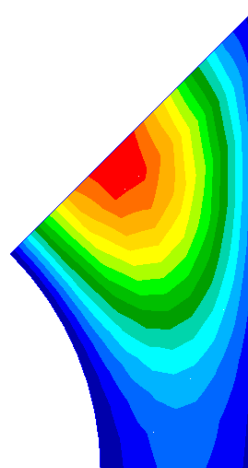


图 19-105　某时刻下的温度场结果

（2）点击命令栏 Display 下的 Plot/Erase…命令，点击 Geometry 下的 Erase 按钮，消除几何模型显示。

（3）点击工具栏中的 Results 按钮，打开如图 19-104 所示的 Results 页面，依次设置 Action=Create，Object=Quick Plot。可以选择所列的时间点的结果，例如在 Select Result Cases 列表中选择 transient load case, A1:Time=16.00488，在 Select Fringe Result 列表中选择 Tmperatures，点击 Apply 按钮，得到如图 19-105 所示的温度分布云图。

（4）如图 19-106 Results 页面所示，重新依次设置 Action=Create，Object=Graph，Method=Y vs X，在 Select Result Case 列表中选择 transient load case。

（5）如图 19-107 所示，点击 Filter 按钮，在 Selecte Result Case(s)列表中列出相应的工况，点击 Apply 按钮，点击 Close 按钮退出页面。



图 19-106　Results 页面

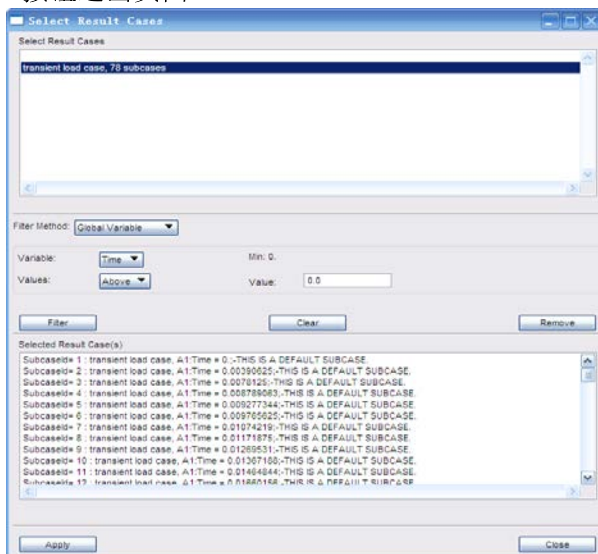


图 19-107　Select Result Cases 页面

（6）如图 19-106 所示，在 Select Y Result 列表中选择 Temperatures，点击 图标，打开如图 19-108 所示的 Results 页面，在 Select Nodes 选择图形区顶边的三个节点。点击 Apply 按钮生成如图 19-109 所示的节点温度随时间变化曲线。

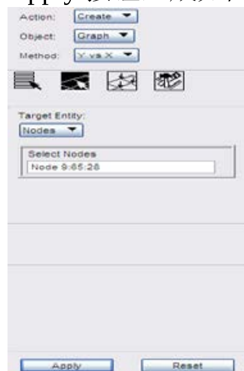


图 19-108　Results 页面

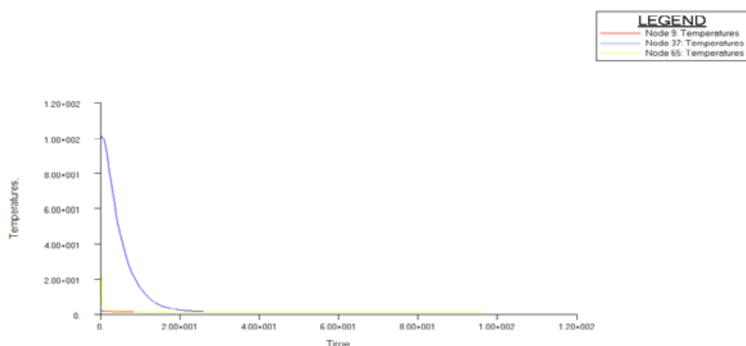


图 19-109　节点温度随时间变化曲线

本节的例子大多涉及到热力耦合的问题，在进行耦合分析时要注意中间的衔接转换问题及输出文件类型的对应一致性。

参考文献

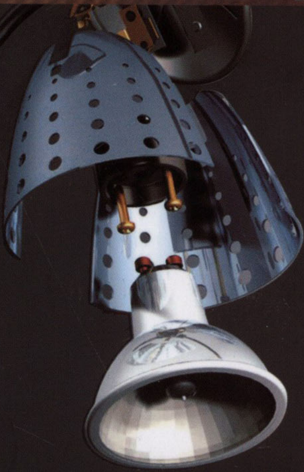
[1] Bendsoe M P，Sigmund O. Material interpolations schemes in topology optimization[J]. Archive of Applied Mechanics，1999，69（9-10）：635-654.

[2] Stople M，Svanberg K. An alternative interpolation scheme for minimum compliance topology optimization[J]. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2001，22（2）：116-124.

[3] Sigmund O**.** Numerical instabilities in topology optimization: A survey on procedures dealing with checkerboards, mesh-dependencies and local minima[J]**.** Structural Optimization，1998，16（1）：68-75.

[4] Zho M, Shyy Y K, Thomas H L. Checkerboard and minimum member size control in topology optimization[J]. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2001, 21(2):152-1519.

Patran2010与Nastran2010有限元分析从入门到精通



计算机辅助分析(CAE)系列
JISUANJIFUZHUFENGXI(CAE)XILIE

Patran 2010与Nastran 2010有限元分析从入门到精通
SolidWorks 2012中文版有限元、动力学与流场分析从入门到精通
UG NX 8.0中文版动力学与有限元分析从入门到精通
Cero 1.0中文版动力学与有限元分析从入门到精通
ADAMS 2011虚拟样机技术从入门到精通
HyperWorks 11.0有限元分析从入门到精通
ABAQUS 6.11有限元分析从入门到精通
MATLAB 2011科学计算与工程分析从入门到精通
AME Sim R10多学科复杂系统仿真从入门到精通

责任编辑：曲彩云
封面设计：王 玮

上架指导：计算机 CAD/CAM/CAE

ISBN 978-7-111-36004-9

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203
邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版



定价：69.00元（含1DVD）